à Monsieur Vulpian
membre de l'Institut, etc
humble hommage
[illegible]

16

NOTICE

DES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

F.-P. LE ROUX.



PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,
Quai des Augustins, 55.

1878

16

NOTICE

DES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

F.-P. LE ROUX,

Docteur ès sciences

Examinateur d'admission à l'École Polytechnique

Professeur de Physique à l'École supérieure de Pharmacie,

etc.

TABLE DES MATIÈRES.

I. — Electricité et Magnétisme.

II. — Optique.

III. — Chaleur. — Actions moléculaires. — Mécanique.

IV. — Acoustique.

I.

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME.

I. — *Des avantages que présente l'élévation de la température quand on emploie le bioxyde de manganèse et l'acide sulfurique en remplacement de l'acide azotique dans la pile de Bunsen. — D'un moyen de diminuer la dépense d'acide azotique dans cette pile.*

(Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1853, 2e semestre, t. XXXVII, p. 355.)

1° J'ai étudié dans ce travail les circonstances les plus favorables à l'emploi du bioxyde de manganèse et de l'acide sulfurique, proposés par M. Guignet, pour remplacer l'acide azotique dans la pile de Bunsen. J'ai reconnu que le mélange en question perdait presque entiérement, au bout de dix à quinze minutes, son pouvoir dépolarisateur, celui-ci paraissant être proportionnel à la vitesse avec laquelle ce mélange laisserait dégager l'oxygène. Il suivait de là qu'en facilitant la réaction par l'élévation de la température, on devait obtenir des effets plus énergiques. L'expérience m'a montré, en effet, que vers 75 degrés centigrades, on avait un maximum d'intensité du courant fourni par un élément disposé dans les conditions ci-dessus indiquées. A cette température, l'oxygéne commence à se dégager, sous forme de bulles, du mélange de bioxyde de manganèse et d'acide sulfurique.

2° On peut économiser très-notablement la dépense d'acide azotique dans la pile de Bunsen, en plongeant le charbon dans de l'acide sulfurique concentré, auquel on a ajouté un ou deux vingtièmes d'acide azotique. L'acide sulfurique agit évidemment comme déshydratant et amène l'acide azotique à un état sous lequel sa décomposition est plus facile que lorsqu'il se trouve en présence d'une grande quantité d'eau. L'acide sulfurique pouvant déshydrater d'une manière convenable son volume environ d'acide azotique du commerce, qu'on y ajoute successivement, on peut, avec son aide, utiliser presque complétement une quantité donnée d'acide azotique, qui, employée seule à la maniére ordinaire, devrait être rejetée longtemps avant d'être épuisée réellement.

II. — *Remplacement de l'oxygène par le chlore comme dépolarisateur dans la pile de Bunsen, etc.*

(Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1853, 2e semestre, t. XXXVII, p. 588.)

Le chlore placé au pôle positif d'une pile jouit de propriétés dépolarisatrices analogues à celles de l'oxygène. Une manière simple d'utiliser cette propriété du chlore consiste à remplacer l'acide azotique de la pile de Bunsen par un mélange d'acide chlorhydrique et de bioxyde de manganèse. Pour obtenir le maximum d'effet, il faut chauffer jusque vers 35 degrés. Il est donc probable que les réactions électro-chimiques se passent entre l'hydrogène transporté et le chlore dégagé et dissous, et non entre le bioxyde de manganèse directement et les autres corps qui se trouvent en présence. Quand on opère à la température ordinaire, les effets sont énergiques pendant les premières minutes, mais ils décroissent bientôt à cause de l'épuisement du gaz en dissolution; si on suspend le passage du courant, le liquide s'enrichit à nouveau et le couple reprend son énergie initiale. Les piles au peroxyde de manganèse peuvent donc être avantageuses dans le cas d'un service intermittent, comme dans la télégraphie, etc. Elles ont été dans ces derniers temps, présentées comme nouvelles par divers inventeurs, qui en ont, il est vrai, modifié la disposition d'une manière avantageuse en empêchant, par le mélange avec diverses matières inertes, la précipitation et le tassement du peroxyde de manganèse que j'avais signalés comme une des causes de l'affaiblissement rapide du courant.

III. — *Sur les causes auxquelles il convient d'attribuer le développement d'électricité qui accompagne dans certaines expériences l'élévation de la température.*

(Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1853, 2e semestre, t. XXXVII, p. 500.)

Les progrès si éclatants de la théorie mécanique de la chaleur opérés dans ces dernières années étant venus éclairer d'un jour nouveau les relations qui existent entre l'électricité et la chaleur, on ne songe plus aujourd'hui à s'étonner de voir le mouvement de la chaleur engendrer celui de l'électricité. Mais il n'en fut pas toujours ainsi, et plusieurs des plus célèbres expériences par lesquelles M. Becquerel avait mis en évidence, il y a quarante ans, l'existence d'une connexion entre les deux ordres de phénomènes furent attribuées par quelques personnes à des actions électro-chimiques. L'une des

expériences les plus curieuses qui lui soient dues est celle par laquelle on constate que si l'on plonge dans la flamme d'une lampe à alcool deux fils de platine, l'un enroulé autour d'un tube de verre capillaire, l'autre placé dans l'intérieur de ce tube, le premier étant mis en communication avec le sol, le second charge d'électricité positive le plateau d'un condensateur. M. Gaugain, qui venait de trouver dans d'ingénieuses recherches que des fluides élastiques différents séparés par une cloison de verre échauffé pouvaient donner naissance à de véritables couples jouissant de propriétés analogues à celles des couples hydro-électriques, avait cru pouvoir infirmer l'explication que M. Becquerel donnait de son expérience. Telle est la question que, dans le travail dont il s'agit ici, j'ai cherché à élucider.

J'ai ramené l'expérience de M. Becquerel à des conditions simples, qui fussent à l'abri de toute objection relative à la présence de milieux gazeux de nature différente autour des fils de platine. C'est ainsi que j'ai reconnu que si l'on place dans un tube de verre capillaire deux bouts bien identiques d'un fil de platine, en laissant entre leurs extrémités une distance d'un centimètre environ que l'on comble ensuite de verre en fusion, et qu'on vienne à chauffer cette masse de verre dyssymétriquement, on obtient au moyen, soit d'un électroscope condensateur, soit d'un galvanomètre, des manifestations électriques dont le sens concorde avec celui annoncé par M. Becquerel. On peut d'ailleurs à volonté faire changer ce sens, en faisant prédominer la chaleur sur l'extrémité de l'un ou l'autre des fils; à égale distance des deux, l'action est nulle. Toutes les expériences doivent être faites un peu au delà de la température à laquelle le verre commence à se ramollir, car c'est alors seulement qu'il devient suffisamment conducteur.

Dans l'expérience disposée comme il vient d'être dit, il n'y a donc pas lieu de faire intervenir l'action d'aucun gaz; rien, d'ailleurs, n'autorise à supposer une action chimique entre le verre et le platine. Il faut donc bien reconnaître là un véritable effet de la différence des températures aux jonctions de deux corps hétérogènes; c'est un véritable couple thermo-électrique, platine-verre rendu conducteur par l'élévation de la température.

IV. — *De l'influence de la structure sur les propriétés magnétiques du fer.*

(Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1857, t. XLV, p. 477.)

A propos des expériences de Plucker et de Faraday sur les phénomènes magnéto-cristallins, MM. Tyndall et Knoblauch avaient fait voir, par

des expériences ingénieusement variées, que la position que prenaient des masses cristallines par rapport aux pôles d'un aimant ne dépendait pas tant, comme on l'avait cru d'abord, de la direction de l'axe cristallographique, que de celle du clivage dominant. Les phénomènes observés, soit avec des cristaux naturels, soit avec des masses ou diamagnétiques ou faiblement magnétiques, préparées de manière à imiter la distribution moléculaire des cristaux, ne laissent aucun doute à ce sujet. Les plans de clivage se placent équatorialement dans les substances diamagnétiques et axialement dans les magnétiques. Ces physiciens ont cru pouvoir conclure de ce fait que la *polarité élective* des cristaux ou des corps qui s'en rapprochent tenait à la condensation des molécules (chacune d'elles étant considérée comme un centre d'action) qui est plus grande dans un sens que dans l'autre.

On peut faire à cette opinion de graves objections. La plus importante est celle de M. Matteucci, qui a reconnu qu'une aiguille de bismuth cristallisé, dans laquelle les plans de clivage sont parallèles à la longueur, tendait à se placer équatorialement avec une force plus grande lorsque ceux-ci sont verticaux que lorsqu'ils sont horizontaux. Quelques expériences de M. Matteucci semblaient prouver que la direction des plans de clivage, par rapport aux lignes de force des aimants, influe autrement que par la distribution des molécules considérées isolément, au point de vue de leur masse magnétique. Les expériences de ce genre n'ayant porté que sur des corps diamagnétiques ou faiblement magnétiques, je me suis proposé de rechercher si des corps fortement magnétiques, le fer par exemple, ne mettraient pas en évidence des phénomènes analogues.

J'avais entre les mains quelques morceaux de matières préparées pour la fabrication de l'acier fondu par le procédé de M. Chenot. Ce sont des minerais de fer très-purs, réduits soit par l'hydrogène, soit par l'oxyde de carbone, puis comprimés à la presse hydraulique. Dans cette opération chaque grain du minerai réduit s'écrase et forme une petite lamelle qui se dispose perpendiculairement au sens de la pression. Ces matières furent taillées avec soin en prismes à base carrée, de manière que la direction des lamelles fût parallèle à la longueur de ces prismes, et en même temps à l'une de leurs faces latérales. Je suspendais ces prismes soit au-dessus d'un petit barreau aimanté à la distance de quelques centimètres, soit au-dessus d'un fort aimant en fer à cheval ; dans ce cas, la distance était portée à 24 centimètres. Un tel éloignement prévient évidemment toute objection relative à quelque différence d'épaisseur que les prismes auraient pu présenter malgré les soins apportés à leur fabrication.

Je comptais la durée de 40 oscillations d'une amplitude déterminée. Les différences sur lesquelles repose la constatation du phénomène que j'ai signalé n'étaient jamais moindres que 12 secondes.

Pour éviter l'influence d'une certaine quantité de magnétisme remanent dans l'échantillon à étudier, chaque détermination comprenait huit observations faites en présentant successivement chacune des faces latérales du prisme à l'aimant, et en opérant à chaque fois le retournement du barreau.

L'échantillon qui m'a donné les effets les plus marqués est un petit prisme de $21^{mm},55$ de long sur $12^{mm},55$ de côté, pesant $16^{gr},94$. Sa densité est de 6,25. J'ai eu beaucoup de peine à le tailler, à cause du peu d'adhérence des lamelles entre elles. J'ai trouvé que l'action de l'aimant sur cette matière était plus forte lorsque les clivages étaient verticaux que lorsqu'ils étaient horizontaux. Avant le recuit, le rapport des forces qui faisaient osciller le barreau était 1 : 1,16. Après le recuit, ce rapport s'est trouvé notablement plus faible, il n'a plus été que 1 : 1,09. Ces nombres sont la moyenne de plusieurs déterminations faites avec le gros aimant à la distance de 24 centimètres. Avec un petit aimant rectiligne placé à 2 centimètres seulement, ce rapport a toujours été plus fort. Il a été trouvé de 1 : 1,21 avant le recuit, et de 1 : 1,12 après.

Un autre prisme provenant de la réduction d'un morceau compacte de minerai, comprimé comme le précédent, mais dans lequel la structure lamelleuse n'était pas apparente, a donné des différences dans le même sens que le précédent, mais très-faibles.

J'ai opéré aussi sur un échantillon où le fer était entremêlé de lamelles de cuivre. A cause du peu d'agrégation de la matière, j'ai dû, pour pouvoir la travailler, rendre plus intime le contact des particules, en la chauffant à une haute température et la soumettant en cet état à une pression énergique.

J'ai préparé de cette manière deux morceaux. Le premier a été chauffé au blanc soudant, le cuivre s'est fondu. La densité de ce morceau est 7,27. Je n'ai pas trouvé de différence dans la durée de ses oscillations, suivant que la stratification était verticale ou horizontale. Le second morceau n'avait été porté qu'au rouge cerise très-vif. Sa densité n'est que de 6,20; le rapprochement a donc été moins intime que dans le cas précédent. Aussi trouve-t on une différence notable. Le rapport des forces dans les deux cas est 1 : 1,047.

Il est important de remarquer que ces résultats sont, du moins d'après ce qui est généralement admis, indépendants de l'influence des courants induits dans le corps qui oscille au-dessus de l'aimant. En effet, le caractère

fondamental du phénomène découvert par Arago, et dont l'induction fournit l'explication, est la diminution rapide des oscillations, sans que leur durée soit sensiblement altérée.

Il est remarquable aussi que la disposition des clivages qui, dans notre expérience, développe un magnétisme plus puissant est aussi celle qui, si l'on n'avait égard qu'aux courants d'induction possibles dans la masse mobile, donnerait à ces courants une plus grande énergie.

Enfin, pour tirer la dernière et la plus importante conséquence du fait que je viens de rapporter, il faut faire observer que cette influence de la disposition des molécules doit être intimement liée au magnétisme ou au diamagnétisme lui-même. Nous la voyons en effet également sensible pour le bismuth et pour le fer, quoique le diamagnétisme du premier soit environ 25000 fois plus faible que le magnétisme du second. Nous voyons aussi que la même circonstance, à savoir la position verticale des clivages, qui augmente le diamagnétisme du bismuth, augmente aussi le magnétisme du fer.

V. — *Recherches expérimentales sur les machines magnéto-électriques.*

(Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1856, 2e semestre, t. XLIII, p. 802. — Annales de Chimie et de Physique, 3e série, t. L, p. 463. — Bibliothèque universelle de Genève, 1856, t. XXXIII, p. 198.)

L'emploi industriel des courants électriques qui prennent naissance par l'induction des aimants permanents sur des solénoïdes contenant des noyaux de fer doux date seulement d'une quinzaine d'années. Appelé à diriger les premiers essais sérieux qui furent faits en France pour cette transformation industrielle de la force mécanique en puissance électrique, je cherchai à découvrir les lois de ces phénomènes, ou au moins à en obtenir une première approximation eu égard à l'imperfection native des premières machines.

Je reconnus tout d'abord que la loi des courants hydro-électriques ou thermo-électriques $I = \frac{e}{\Sigma R}$, e représentant la force motrice totale et R étant le symbole des résistances, ne s'appliquait plus ici : l'intensité du courant croît beaucoup moins vite que l'inverse de la somme des résistances. On ne peut accepter cette loi, comme une approximation suffisante, que lorsque la résistance extérieure est quarante ou cinquante fois plus grande que la

résistance intérieure, c'est-à-dire que celle des conducteurs soumis à l'influence de l'induction.

La force électromotrice d'une portion déterminée de ces conducteurs est fonction de la vitesse du déplacement relatif des aimants et des fers doux qui détermine l'induction. La force électromotrice n'est sensiblement proportionnelle à cette vitesse que dans les cas où la loi des courants ordinaires peut elle-même sensiblement s'appliquer.

La force électromotrice varie pendant le temps qu'une bobine met à passer d'un pôle à un autre; mais comme il y a un grand nombre de ces passages par seconde, on peut, même avec l'aide du galvanomètre, prendre une sorte de moyenne entre les intensités du courant aux divers instants. J'ai cherché, en opérant par opposition, à comparer dans les différents cas la force moyenne d'une bobine donnée à celle de l'élément de Bunsen. J'ai trouvé ainsi que, pour une même vitesse, la force électromotrice d'une bobine était d'autant moindre que cette bobine faisait partie d'une série plus nombreuse en tension, et que, lorsque la vitesse variait, la force électromotrice d'une bobine croissait d'autant moins rapidement que la bobine faisait partie d'une série plus nombreuse en tension. J'ai donné des courbes représentant les valeurs de la force électromotrice dans les différents cas.

Dans la seconde partie de ce travail, j'ai cherché à évaluer la quantité de force mécanique nécessaire pour obtenir un travail électrique déterminé. J'ai trouvé entre autres résultats qu'une puissance mécanique de un cheval vapeur produisait un dépôt de 540 grammes de cuivre par heure dans des conditions acceptables en pratique. Il faut en effet remarquer que le travail de désagrégation et de transport qui constitue le dépôt galvanoplastique se trouve forcément accompagné de travaux d'autre espèce, tels par exemple que l'échauffement des conducteurs qui forment le circuit, qu'on peut chercher à réduire dans une certaine mesure, mais qu'on ne peut annuler.

VI. — *Études sur les machines électro-magnétiques et magnéto-électriques.*

(Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1857, 2e semestre, t. XLV, p. 414. — Annales du Conservatoire des Arts et Métiers, t. I, p. 582.)

Dans ce travail j'ai cherché à rendre compte d'une manière synthétique de la distribution du travail dans les machines où l'induction électro-magnétique joue le principal rôle.

Je commence par raisonner sur l'établissement des courants électriques, soit que ceux-ci résultent de la fermeture d'un circuit contenant une source quelconque d'électricité, ou de l'influence qui est exercée à distance par des aimants ou des conducteurs traversés eux-mêmes par un courant électrique. Il doit en être de l'établissement d'un courant comme de celui de tout mouvement dans un système matériel, jouissant par conséquent de cette propriété mystérieuse qui porte le nom d'*inertie :* jusqu'à ce que le système à mettre en mouvement ait acquis un régime permanent, il faut vaincre une *résistance* qui absorbe ou plutôt dissimule un certain travail. Ce mot *résistance* a dans l'étude de l'électricité dynamique une signification spéciale appliquée à un cas particulier, mais qu'il est tout naturel de généraliser. La loi de variation du courant résultera des circonstances qui donnent naissance à ce courant et par conséquent sera particulière à chaque cas; mais nous pouvons toujours imaginer un certain courant uniforme de même force électromotrice qui, pour être équivalent au courant variable sous le point de vue du travail mis en jeu dans le même temps, aurait à vaincre une certaine résistance r, additionnelle à la résistance mesurée à la manière ordinaire par le rhéostat; je l'ai appelée la *résistance dynamique* du système, pour la distinguer de la résistance opposée au passage du courant quand il est à l'état permanent, que j'appelle *résistance statique.* Dans l'ordre d'idées où je me place, la résistance dynamique d'un circuit n'est pas constante, elle dépend de l'intensité et de la loi de variation du courant qui traverse le circuit.

En généralisant davantage, j'ai cru pouvoir énoncer les principes suivants comme pouvant rendre compte de l'ensemble des faits connus de l'induction :

« Lorsqu'un circuit a des parties en mouvement vis-à-vis des centres de force inductive, ou qu'il est traversé par des courants discontinus, ou bien que les deux choses ont lieu à la fois, les diverses parties de ce circuit s'échauffent comme s'il y avait repos, que le courant fût continu, et qu'il présentât la même intensité que celle qui serait la moyenne de son intensité variable.

» Le mouvement d'une portion du circuit dans les conditions indiquées (mouvement nécessairement accompagné d'un travail mécanique, positif ou négatif), ou la discontinuité du courant, fait naître une résistance spéciale que nous appelons *résistance dynamique*.

» Le travail mis en jeu, que ce travail soit extérieur comme dans les machines magnéto-électriques, ou intérieur comme dans les appareils où entrent des éléments de pile, ce travail se partage entre les différentes parties

du circuit (chacune prise en bloc, c'est-à-dire avec les corps avoisinants), proportionnellement aux résistances dynamiques et statiques de ces parties. »

Si à ces principes on joint celui que j'ai eu l'occasion d'énoncer pour la première fois dans le travail sur les courants thermo-électriques qui sera analysé ci-après, à savoir que : dans tous les points d'un circuit qui sont le siége d'une force électromotrice, il doit y avoir une absorption de chaleur proportionnelle à cette force électromotrice, on pourra, comme j'espère le faire voir en détail plus tard, rendre compte de la distribution du travail absorbé ou développé par l'induction dans tous les cas.

J'ai cherché à appliquer ces principes à l'étude des conditions d'établissement des machines, soit électro-magnétiques, soit magnéto-électriques. J'ai été conduit à ce résultat que, au point de vue de l'économie du travail, la meilleure machine magnéto-électrique serait aussi la meilleure machine électro-magnétique.

Cherchant ensuite les conditions les meilleures pour les moteurs électriques où le but à remplir est d'obtenir, avec une pile donnée, le plus de travail mécanique utile possible dans l'unité de temps, je suis arrivé à ces conditions:

1° La résistance de la pile employée et celle de la machine à l'état de repos doivent être aussi faibles que possible;

2° La portion utile de la résistance dynamique de la machine (c'est-à-dire la portion de cette résistance qui ne dépend que de l'état de mouvement des organes) doit s'approcher le plus possible d'être égale à la résistance statique de tout le système.

D'après cela, une pile et une machine étant données, celle-ci produira la quantité maximum de travail dans l'unité de temps, lorsque, par suite de son état de mouvement, sa résistance dynamique, qui est variable avec la vitesse du mouvement, sera devenue égale à la résistance statique, autrement dit lorsque l'intensité du courant qui traverse la machine en mouvement est moitié de celle du courant de la même pile traversant la machine en repos. On reconnaît, sous cette forme, le résultat trouvé par M. Jacobi, comme résultat purement expérimental.

VII. — *Les machines magnéto-électriques*, etc.

DEUX LEÇONS FAITES A LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT.

(Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, 2e série, t. IV, p. 677 et 748.)

Dans ce travail, outre l'exposé que j'ai fait des résultats acquis à la science et à l'industrie, j'ai exposé mes vues personnelles sur un certain nombre

de points, notamment sur les conditions que doivent remplir les régulateurs de lumière électrique pour fonctionner avec les courants interrompus, sur la production de la lumière, etc.

VIII. — *Sur certaines rotations de tubes et de sphères produites par l'électricité.*

(Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1859, t. XLVIII, p. 579.)

On doit à M. Gore une curieuse expérience : un corps métallique assez léger et à surface polie étant posé sur deux rails conducteurs, de manière à laisser passer de l'un à l'autre un courant électrique intense, ce corps peut, sous l'influence de la plus légère impulsion, prendre un mouvement continu. Le sens de ce mouvement est d'ailleurs indépendant de la direction du courant. L'explication que j'ai proposée de cette expérience est fort différente de celle des auteurs anglais. Les expériences que j'ai réalisées sur ce sujet m'ont fait reconnaître les circonstances que voici :

1° Lorsque le phénomène se produit dans les circonstances les plus favorables, on remarque une série continue d'étincelles à l'arrière de la partie mobile, et celle-ci s'échauffe considérablement.

2° En opérant avec des boules de différents métaux on trouve que le phénomène est d'autant moins marqué que le métal de la boule est meilleur conducteur. Lorsque les surfaces sont amalgamées de manière que la conductibilité superficielle soit parfaite, le phénomène cesse de se manifester ainsi que toute élévation de température.

3° En opérant avec des rails concaves et deux disques minces réunis par un conducteur central, on a peine à observer quelque trace du phénoméne.

Sans entrer dans le détail des expériences variées que j'ai faites sur ce sujet, celles que je viens de signaler suffisent à motiver l'explication que voici :

Imaginons deux surfaces tangentes et un courant électrique passant de l'une à l'autre; si l'une des deux surfaces vient à rouler sur l'autre, et que pendant ce mouvement de très-faibles aspérités des surfaces fassent varier l'étendue des éléments en contact, et même viennent à rompre la continuité métallique, il se produira une étincelle, qui nécessairement n'aura lieu qu'à *l'arrière* du point de contact géométrique, en appelant *arrière* le côté opposé à celui du mouvement. Il devra même arriver que le passage du

courant ne se fasse plus par le contact immédiat des deux surfaces, mais par de petits arcs voltaïques formés entre elles et qui ne sont pour ainsi dire qu'un même arc, se déplaçant à la fois sur les deux surfaces avec une série de petites explosions. Ces explosions ayant lieu, avons-nous dit, à l'arrière du point de contact, ou pour mieux dire, du pied de la perpendiculaire abaissée du centre de gravité du corps sur la surface du rail, il doit en résulter une impulsion, si toutefois chacune de ces explosions possède une force disjonctive suffisante pour vaincre les résistances des divers frottements.

La puissance disjonctive des explosions électriques en général paraît un fait généralement admis, mais il est bon de l'analyser avec quelque détail dans le cas qui nous occupe. On peut en effet y considérer : 1° la répulsion, comme dans l'expérience réalisée par Ampère, entre deux éléments consécutifs d'un même courant; 2° la réaction des molécules matérielles entraînées par le courant pour former le petit arc voltaïque qui constitue l'étincelle; 3° l'expansion du gaz ambiant.

On peut constater expérimentalement cette force disjonctive de l'étincelle voltaïque en l'excitant à l'extrémité d'un petit levier métallique horizontal, mobile autour d'un axe vertical passant par son centre. On voit cette extrémité assez vivement repoussée au moment où l'étincelle se produit. L'effet est notablement plus marqué lorsqu'elle a lieu entre deux surfaces un peu larges, et aussi lorsqu'il existe entre elles une petite quantité d'un corps capable d'augmenter par sa volatilisation le volume et la durée de l'étincelle, par exemple une gouttelette de mercure.

IX. — *Sur une nouvelle disposition des boussoles destinées à mesurer l'intensité des courants électriques.*

(Annales du Conservatoire, t. II, p. 416.)

La précision des indications de ces sortes d'appareils est limitée par la difficulté qu'il y a à saisir exactement la position de l'aiguille à un moment donné. Dans ces appareils l'aiguille est ordinairement armée d'un bras rectangulaire portant à son extrémité un trait qui vient se présenter devant un autre trait fixe; malheureusement le bras en question, en outre de son déplacement dans un plan horizontal qu'il s'agit d'apprécier, est le plus souvent animé de mouvements dans le sens vertical qui font sortir l'index mobile du plan dans lequel se trouve le trait fixe; il en résulte des erreurs

de parallaxe qui diminuent de beaucoup la précision du pointé. J'ai cherché à améliorer cet état de choses en remplaçant le trait mobile par un fil d'araignée et le trait fixe par un signal immatériel qui n'est autre chose que l'image, donnée par un objectif, d'une croisée de fils à la Wollaston; par cette disposition, le signal mobile peut se superposer exactement au signal fixe, et l'erreur de parallaxe se trouve considérablement amoindrie, surtout si on a soin d'employer pour l'observation un oculaire muni d'un trou d'œil très-étroit. Une boussole ainsi disposée donne facilement la minute; je m'en suis constamment servi dans mes recherches sur les courants thermo-électriques.

X. — *De la production de l'ozone au moyen d'un fil de platine rendu incandescent par un courant électrique.*

(Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1860, t. L, p. 691.)

On prend un fil de platine très-fin ($\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{25}$ de millimètre), d'une assez grande longueur, 20 centimètres par exemple. On lui donne une figure quelconque en le maintenant dans un plan horizontal au moyen de supports convenables. On recouvre ce système d'un entonnoir de verre, d'une contenance de quelques litres, disposé de telle sorte que l'air ait un large accès sous le fil. On remplace le bec de l'entonnoir par une cheminée de verre de 3 à 4 centimètres de diamètre et assez longue pour qu'en la parcourant les gaz échauffés puissent se refroidir. Les choses étant ainsi disposées, on porte le fil à l'incandescence voisine de la fusion en le faisant traverser par le courant de 12 à 15 éléments de Bunsen.

On peut alors reconnaître dans le courant de gaz qui sort par la cheminée l'odeur caractéristique de l'ozone; des papiers amidonnés iodurés humides qu'on y place sont altérés au bout de quelques minutes.

XI. — *Expériences électro-dynamiques faites au moyen de conducteurs flexibles.*

(Annales de Chimie et de Physique, 3e série, 1860, t. LIX, p. 409.)

Ces expériences sont relatives à l'emploi de fils conjonctifs très-fins; la flexibilité qui résulte de cette finesse permet de faire avec leur secours un assez grand nombre d'expériences très-démonstratives, mais qu'on n'avait pas encore réalisées.

On peut prendre ces fils soit en platine, soit en argent. Le platine s'em-

ploiera de préférence lorsqu'on voudra montrer des effets qui gagnent en visibilité par l'incandescence du fil.

Quand au contraire on veut éviter l'incandescence, et en même temps avoir un fil conjonctif très-long sans trop affaiblir l'intensité du courant, on doit employer surtout l'argent.

1° *Distribution dans l'espace des lignes magnétiques.* — Au moyen d'une pince appropriée on présente un fil fin de platine rendu incandescent devant les pôles soit d'un électro-aimant, soit d'un aimant puissant. On voit alors le fil prendre des configurations variables suivant qu'on donne à la ligne qui joint ses extrémités la position axiale ou transversale, et suivant le sens du courant. On peut ainsi réaliser les lignes de forces étudiées géométriquement par M. Plucker.

2° *Attraction du fil conjonctif par une masse de fer doux.* — Dans l'expérience bien connue d'Arago on voit des particules très-légères de fer rester adhérentes à un fil conducteur traversé par un courant électrique; ici c'est ce fil qui est attiré par une masse de fer doux.

On prend un fil fin d'argent que l'on fixe dans la pince dont il a été question ci-dessus, et qu'on laisse pendre. Il suffit, lorsque le courant le traverse, d'en approcher une masse de fer assez considérable, surtout offrant une grande surface, pour voir le conducteur s'y précipiter et y rester adhérent malgré l'action contraire de la pesanteur.

3° *Enroulement spontané du fil conjonctif autour d'un pôle d'aimant.* — Cette expérience est assez frappante, surtout lorsqu'on la rapproche de l'aimantation du fer doux par un courant contourné en hélice.

Sur l'un des pôles d'un électro-aimant ou d'un fort aimant en fer à cheval, à branches verticales, on fixe une armature de fer doux de 8 ou 10 centimètres de longueur, tournée et polie. On attache un bout d'un fil d'argent auprès de cette armature, l'autre bout étant tenu à la main, mais assez librement pour que le fil puisse obéir aux forces qui le sollicitent. Si l'on fait traverser ce fil par un courant, on le voit s'enrouler autour de l'armature, et cela en formant une hélice dont le sens est celui qui serait convenable pour donner à l'armature la même aimantation que celle qu'elle possède.

XII. — *Sur les lois du dégagement de la chaleur par le passage d'un courant électrique dans les conducteurs métalliques et dans les voltamètres.*

(Annales de Chimie et de Physique, 4e série, t. VI, p. 86.)

Dans ce travail purement théorique, j'ai cherché à interpréter les résultats généraux de l'expérience relativement aux phénomènes de chaleur auxquels donnent lieu les courants électriques dans les cas indiqués par le titre du Mémoire.

XIII. — *Action de l'étincelle électrique sur une plaque d'argent iodurée. — Nouveau mode de pointage.*

(Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1862, t. LV, p. 839.)

A l'occasion de recherches entreprises sur la propagation du son (*voir* ci-après à l'article *Acoustique*), j'avais étudié les divers modes d'emploi de l'étincelle d'induction comme moyen de pointage; je ne tardai pas à reconnaître que, lorsque l'étincelle devait éclater d'un peu loin, il était nécessaire, pour obtenir aussi peu d'écarts que possible, de s'abstenir de recouvrir la plaque métallique d'aucune matière non métallique. Le noir de fumée, dont plusieurs observateurs se sont servis pour recouvrir les disques ou les cylindres chronoscopiques, est excellent à ce point de vue, mais il offre quelques inconvénients, celui notamment de donner beaucoup de peine pour retrouver les pointés. J'ai constaté qu'une surface d'argent polie, exposée à la vapeur d'iode jusqu'à prendre la teinte orangée, jouissait, au point de vue qui nous occupe, d'une sensibilité exquise. Lorsqu'une plaque, ainsi préparée et animée d'un mouvement rapide, est frappée par l'étincelle d'une bobine de Ruhmkorff, cette étincelle y trace une traînée bleuâtre extrêmement visible et très-nettement terminée. Vers le sommet de cette traînée se trouve un petit point rappelant, par sa position et son aspect, le noyau des comètes : c'est la place où le trait brillant de l'étincelle est venu frapper. Vu à la loupe, c'est un point légèrement bordé de noir : il semble évident qu'en cet endroit l'iodure d'argent a été réduit et volatilisé par l'élévation de la température. On peut prétendre à une précision de $\frac{1}{20}$ de millimètre dans l'observation de ce point. Cette méthode est surtout précieuse lorsqu'on est obligé de faire éclater l'étincelle d'une distance assez grande de la plaque, 2 millimètres

par exemple; on sait en effet que le trait brillant n'est pas dérangé par le mouvement de l'air, du moment qu'il y a symétrie parfaite dans la conductibilité de ce milieu; aussi la condition indispensable pour opérer de bons pointés dans ces circonstances est-elle d'opérer dans un air sec et d'une température uniforme.

Si l'on examine la traînée, on reconnaît qu'elle commence par entourer le point précité comme une auréole, qu'elle est parfaitement définie et se termine très-nettement. Il y a donc là un moyen très-sensible d'étudier comment varient la durée de la décharge suivant la disposition de l'appareil employé, la nature du fer doux qui entre dans la construction de la bobine inductrice, la disposition de l'interrupteur, etc.

L'étincelle des machines électriques à frottement laisse une trace comme l'étincelle d'induction, mais sans auréole, car cette étincelle est réduite au simple trait brillant.

XIV. — *Recherches théoriques et expérimentales sur les courants thermo-électriques.*

(Annales de Chimie et de Physique, 4e série, t. X, p. 201.)

Ce travail est divisé en neuf paragraphes :

1° Dans le premier, j'étudie les circonstances d'une expérience célèbre de M. Becquerel relative à la production d'un courant thermo-électrique dans un fil présentant une de ses parties contournée en nœud ou en hélice. J'arrive à démontrer que la condition nécessaire pour la production du courant est le contact de deux parties du fil dont les températures soient différentes, opinion qui avait d'ailleurs déjà été émise par M. Gaugain. La conclusion à en tirer au point de vue de la cause possible du dégagement de l'électricité par la chaleur est donc que cette cause ne saurait être dans l'inégalité en quantité des flux de chaleur transmis de part et d'autre du point échauffé.

2° Le second paragraphe est consacré à la discussion des effets thermo-électriques qui se produisent au contact de deux masses de même nature, mais de températures différentes. J'indique une cause, non encore signalée, qui influe évidemment sur le dégagement d'électricité qu'on observe dans ce cas. Elle est fondée sur ce fait, mis successivement en évidence par M. Babinet, puis par M. W. Thomson, étudié à nouveau par moi dans ce Mémoire : que deux fragments d'un même métal, l'un à l'état naturel, l'autre

tendu, presentent des effets thermo-électriques lorsqu'on élève la température de leur point de contact.

3° Dans le troisième paragraphe, je donne les résultats des expériences que j'ai faites sur les relations thermo-électriques qui existent entre deux fils de différents métaux, l'un tendu, l'autre à l'état naturel. J'ai examiné huit métaux; M. W. Thomson en avait essayé trois. Mes résultats sont de sens contraire aux siens pour deux de ces métaux : le fer et le platine.

4° Dans le quatrième paragraphe, j'analyse les diverses théories proposées pour rendre compte de l'effet de la chaleur dans la production des courants thermo-électriques; je rappelle la découverte si importante faite par M. W. Thomson de ce fait, auquel il a donné le nom de *convection électrique de la chaleur*, que, lorsque l'électricité parcourt un conducteur en marchant d'une partie chaude à une partie froide, elle peut, suivant la nature de ce conducteur, dégager ou absorber de la chaleur, et *vice versâ*.

5° Le cinquième paragraphe commence par l'établissement d'une proposition formulée, je crois, pour la première fois : *Lorsque, dans un circuit, il se produit des absorptions ou des dégagements de chaleur proportionnels à la simple puissance de l'intensité du courant, ces effets correspondent proportionnellement à des forces électro-motrices favorisées ou vaincues*, et réciproquement.

Cette proposition ouvre une porte nouvelle à l'expérimentation pour découvrir le siége des forces électro-motrices et évaluer leur intensité absolue, tandis que les mesures d'intensité des courants ne nous donnent que les sommes algébriques des diverses forces qui peuvent exister dans un circuit. Relativement aux courants thermo-électriques, il en faut conclure que les effets découverts par Peltier et par M. W. Thomson indiquent l'existence de forces électro-motrices d'une nature spéciale et permettent de les mesurer.

Quelle est la part de chacune de ces espèces de forces électro-motrices (que j'appellerai *d'espèce Peltier*, *d'espèce Thomson*)? C'est ce qui est examiné dans le paragraphe suivant.

6° Dans ce sixième paragraphe, j'évalue d'abord les effets calorifiques produits par un certain courant, pris pour unité, quand il passe du cuivre aux métaux désignés ci-après. En comparant les nombres de calories trouvés à l'équivalent thermique des effets chimiques produits par un courant de même intensité dans un élément à sulfate de cuivre (élément pour lequel la chaleur voltaïque et la chaleur chimique paraissent rigoureusement égales), je puis comparer à la force électromotrice de cet élément les forces électromotrices d'espèce Peltier qui existent aux surfaces de jonction du

cuivre avec les métaux ci-après. Je trouve ainsi qu'à la température de 25 degrés, ces forces électromotrices sont représentées par les fractions que voici :

Cuivre-alliage antimoine cadmium de M. E. Becquerel.	$\frac{1}{67}$
Cuivre-antimoine ordinaire......................	$\frac{1}{181}$
Cuivre-fer..................................	$\frac{1}{349}$
Cuivre-zinc..................................	$\frac{1}{2271}$
Cuivre-cadmium..............................	$\frac{1}{1917}$
Cuivre-maillechort..........................	$\frac{1}{345}$
Cuivre-bismuth pur..........................	$\frac{1}{46}$
Cuivre-bismuth avec antimoine de M. E. Becquerel...	$\frac{1}{34}$

Je cherche alors si pour le couple cuivre-bismuth de M. E. Becquerel la variation de cette force électromotrice entre deux températures, 25 et 100 degrés, peut rendre compte de la force électromotrice de ce couple entre les mêmes limites de température, force électromotrice que ce physicien a évaluée en prenant pour unité le couple à sulfate de cuivre. A cet effet, dans une étuve appropriée, je mesure les effets Peltier aux deux températures indiquées; je trouve entre le résultat prévu et celui donné par l'expérience une légère différence. Mais il n'en est pas moins constant que dans ce couple les forces électromotrices de l'espèce Peltier sont de beaucoup prédominantes.

7° Le septième paragraphe est consacré à l'étude et à la mesure de l'effet Thomson.

J'ai commencé par vérifier que l'effet Thomson était proportionnel à l'intensité du courant.

L'effet en question peut être altéré par plusieurs causes perturbatrices : défaut d'homogénéité dans les conducteurs, trempe, écrouissage, texture cristalline, etc. Ce sont des effets de l'espèce Peltier; ils sont proportionnels à l'intensité du courant, mais ils changent de signe quand, toutes choses égales d'ailleurs, on renverse bout pour bout les conducteurs; de

3

là une méthode d'élimination de ces causes perturbatrices par deux opérations faites sur les mêmes conducteurs renversés....

Je donne les valeurs relatives de l'effet Thomson pour différents métaux....

8° Dans le huitième paragraphe, je cherche à évaluer la part relative des forces électromotrices de l'espèce Peltier et de l'espèce Thomson. Au point de vue du sens on trouve que, dans le couple cuivre-bismuth de M. E. Becquerel et dans le couple cuivre-fer (avant l'inversion), ces deux espèces de forces électromotrices s'ajoutent.

Je remarque qu'il n'y a d'inversion que dans les couples relativement faibles.... Il me semble probable, d'après cela, que l'inversion est due à ce que les forces électromotrices des deux espèces varient suivant des lois différentes avec la température.

9° D'après ce qui précède, faisant abstraction des effets Thomson, qui sont relativement faibles, on peut regarder comme une loi expérimentale que les courants thermo-électriques sont proportionnels pour tous les couples, entre les mêmes températures, aux forces électromotrices qui ont leur siége aux surfaces de jonction. En d'autres termes, la force électromotrice d'un couple de métaux est pour chacun d'eux une fonction de la température; le rapport d'une variation finie de la valeur de cette fonction à la valeur de cette fonction, pour des températures déterminées, est le même pour tous les couples, ce qui exige que cette fonction de la température soit la même pour tous, à un facteur constant près.

Mais comme, d'après une loi très-anciennement posée par M. Becquerel, chaque métal porte dans tous les couples une même relation thermo-électrique, la force électromotrice qui a son siége à la jonction de deux métaux doit être de la forme $aF(t) + bF(t)$. Comme d'ailleurs qui dit *force électromotrice* dit *tension électrique*, on est amené à conclure que chaque corps possède *à priori* une tension électrique mesurée par le produit d'une fonction de la température identique pour tous les corps et d'un coefficient spécial à chacun d'eux.

Quelle est cette fonction de la température? C'est ce que d'autres expériences me permettront peut-être de déterminer. Mais l'identité de cette fonction nous permet de conclure que la thermo-électricité est une propriété de la matière et non un accident des corps.

Quant à la conception d'une tension électrique absolue, fonction de la température, je crois qu'elle est destinée à rendre compte de bien des phénomènes, notamment de l'électricité atmosphérique, à trancher la diffi-

culté de la préexistence de l'action chimique ou de l'action électrique, à faire faire enfin un nouveau pas vers l'identification de la chaleur et de l'électricité.

Ce travail a été l'objet d'un Rapport favorable, et l'Académie en a voté l'insertion dans le *Recueil des Savants étrangers*. (*Comptes rendus*, 1867, t. LXIV, p. 153.)

XIV *bis*. — *Des courants thermo-électriques.*

LEÇON FAITE DEVANT LA SOCIÉTÉ CHIMIQUE.

(Leçons faites à la Société Chimique, année 1867.)

C'est une exposition différente des recherches analysées dans l'article précédent.

XV. — *Sur l'ondulation des fils métalliques traversés par des décharges électriques puissantes.*

(Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1867, t. LXIV, p. 908.)

Les condensateurs peuvent être considérés, au moment de leur décharge, comme des électromoteurs produisant des courants d'une très-courte durée, mais d'une grande intensité, la grandeur de cette intensité provenant de celle de la force électromotrice incomparablement plus grande dans ces appareils que dans les piles ordinaires. Les effets de ces courants presque instantanés, ou décharges, sont très-remarquables; ils se ramènent tous, suivant moi, à des causes connues. Le plus curieux peut-être de ces effets est celui des ondulations produites dans les fils par le passage des décharges et du raccourcissement qui en résulte.

Le raccourcissement des fils fut d'abord aperçu par Nairne. Van Marum, qui fit un si grand nombre d'expériences sur la décharge des batteries, répéta celles de Nairne, vérifia que les fils éprouvaient un raccourcissement, mais il n'aperçut pas les ondulations. M. E. Becquerel, au lieu de tenir le fil tendu entre les deux pinces d'un excitateur, le suspendit en le tendant par un poids assez léger. En opérant ainsi, il vit se produire des ondulations très-marquées. M. Riess étudia aussi ce phénomène et émit l'idée que, dans tous les cas, le raccourcissement était dû à des ondulations plus ou moins apparentes.

Le premier de ces deux physiciens remarqua que, sous l'influence de

décharges successives, les mêmes ondulations étaient conservées et allaient sans cesse en s'accusant de plus en plus. Il émit l'idée que le phénomène était peut-être dû à ce que, par l'effet du passage de l'électricité, le fil éprouvait un mouvement ondulatoire dans le sens transversal, et qu'alors (à cause sans doute de la rapidité du refroidissement), il conservait la forme qu'il avait prise lors des premiers instants de ce mouvement ondulatoire.

L'expérience m'a montré que le fil ne prenait pas de mouvement oscillatoire sous l'action de la décharge, car, au moment où il devient lumineux sous l'action de la décharge, ses contours sont très-nettement accusés; il ne subit évidemment qu'une seule déformation.

Sous l'influence de quelle force celle-ci se produit-elle? J'avais songé d'abord à l'action du magnétisme terrestre. J'essayai, en conséquence, de soumettre les fils à l'action d'aimants puissants; on observe, dans ce cas, des effets curieux que j'aurai l'occasion de signaler plus tard, mais ils paraissent sans influence sur l'ondulation des fils.

Quand les fils sont flottants, les ondulations s'accusent plus nettement que lorsqu'ils sont tendus même légèrement; si l'intensité de la décharge est convenable, on peut obtenir dès les deux ou trois premières décharges des ondulations très-marquées. Pour obtenir des ondulations profondes, il faut que la température à laquelle le fil est porté par le passage de la décharge soit comprise entre certaines limites; il est nécessaire que cette température atteigne le rouge sombre; mais, si le fil est assez chauffé pour se ramollir beaucoup, les ondulations deviennent très-fines et très-serrées, c'est ce qui arrive pour le fil de platine.

Voici l'explication qui résulte de la considération des résultats de toutes les expériences que j'ai faites sur ce sujet.

Au moment du passage de la décharge, dans un intervalle de temps que j'ai vérifié être certainement inférieur à $\frac{1}{50000}$ de seconde, la température s'élève de plusieurs centaines de degrés. Pendant ce même intervalle de temps sa longueur doit tendre à s'augmenter de toute la dilatation qui résulte de cette élévation de température; or il est facile de voir que toutes les forces extérieures, et en particulier la pesanteur, sont ici négligeables par rapport aux forces moléculaires qui tendent à produire la dilatation et qui ont pour antagonistes les forces d'inertie des différentes parties du fil.

Cela posé, divers cas sont à considérer. Le premier, le cas idéal en quelque sorte, est celui d'un fil parfaitement droit, parfaitement homogène, d'un diamètre uniforme, d'une égale résistance dans toutes ses parties, et dont les extrémités soient absolument fixes. Il n'y aura pas de raison pour

qu'un tel fil s'infléchisse d'un côté plutôt que d'un autre en aucun endroit; il restera droit, et toute sa dilatation se portera sur son diamètre, mais en se refroidissant il tendra à se raccourcir, et si ses extrémités sont absolument fixes il pourra se rompre. Ainsi s'explique ce raccourcissement des fils tendus observé par Nairne.

Si le même fil parfaitement droit ses extrémités libres, il arrivera qu'en vertu de l'inertie de la matière ses divers éléments éprouveront des compressions variables suivant leur position, mais dont l'effet sera toujours un refoulement produisant une augmentation de diamètre et postérieurement un raccourcissement. L'accroissement du diamètre n'est d'ailleurs pas une présomption résultant de la diminution de longueur, il a été directement constaté autrefois par M. Ed. Becquerel.

Supposons maintenant que le fil, au lieu d'être en ligne droite, affecte une figure quelconque que nous pourrons toujours regarder comme un polygone; si nous en considérons un angle en particulier, les forces que développe le passage du courant étant des forces intérieures, le centre de gravité de l'angle considéré ne devra pas se trouver déplacé par leur action; comme d'autre part les côtés de cet angle éprouvent un certain allongement, il faudra nécessairement que l'angle se ferme; comme d'ailleurs le refroidissement se fait beaucoup plus lentement que l'échauffement, l'inertie cesse de jouer le même rôle, et comme le fil est supposé à peu près libre, il peut se contracter sans déformation sensible. Ce qui montre la réalité de cette explication, c'est que, par des décharges successives, les coudes formés vont en s'accusant de plus en plus et vont même quelquefois jusqu'à se fermer presque complétement.

En résumé, on voit qu'il suffit pour expliquer ces phénomènes d'avoir recours aux causes mécaniques connues : l'électricité n'y intervient sensiblement que comme une cause d'élévation instantanée de la température.

XVI. — *Sur le rétablissement spontané de l'arc voltaïque après une extinction d'une courte durée et sur une expérience de fractionnement de la lumière électrique fondée sur ce fait.*

(Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1867, t. LXV, p. 1149; 1868, t. LXVI, p. 43.)

Dans les machines magnéto-électriques on utilise à la production de la lumière les courants interrompus qu'elles fournissent; il est vrai que les

interruptions sont excessivement courtes, elles ne durent que un à deux dix-millièmes de seconde.

D'un autre côté M. Wartmann, dans d'anciennes expériences, avait reconnu qu'on peut rallumer l'arc voltaïque sans ramener les charbons au contact après une interruption dont la durée peut s'élever jusqu'à $\frac{1}{20}$ de seconde; ce physicien pensait que pendant ce temps il pouvait rester entre les charbons des particules solides en suspension.

J'ai vérifié ce fait que j'attribue à la conductibilité des gaz échauffés qui remplissent l'intervalle des deux charbons incandescents. Il me paraît probable que le carbone a une tension de vapeur sensible aux températures considérées, et que la présence de cette vapeur contribue à la conductibilité de l'espace interpolaire qui peut atteindre une longueur de près de 3 millimètres avec une pile de 50 éléments de Bunsen.

Quoi qu'il en soit, il m'a été possible de fonder sur ce fait un mode de distribution de la lumière électrique. A l'aide d'une roue convenablement disposée, j'ai pu lancer le courant d'une même pile alternativement dans deux régulateurs de lumière électrique, de façon qu'il passât dans chacun d'eux pendant le même nombre de fractions de seconde, $\frac{50}{100}$ par exemple. Dans ces conditions les deux lumières paraissent continues et parfaitement égales.

XVII. — *De l'emploi d'un courant d'oxygène pour fixer l'arc voltaïque.*

(Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1868, t. LXVI, p. 44.)

Je me suis proposé de rechercher quelles modifications pourrait subir la lumière électrique, tant sous le rapport de la couleur que sous celui de l'intensité, de la part de courants gazeux dirigés sur les pointes des charbons. L'emploi de l'oxygène m'a paru tout d'abord offrir des avantages très-marqués. Sous l'influence d'un très-faible jet de ce gaz dirigé transversalement sur les charbons vers le milieu de l'espace interpolaire, les charbons s'usent plus vite du côté d'où vient le gaz, ils s'appointissent excentriquement; on n'est plus exposé à voir l'arc, comme cela arrive ordinairement à chaque instant, tourner tantôt d'un côté, tantôt d'un autre, sous l'influence des impuretés contenues dans les charbons. En outre, les surfaces entre lesquelles jaillit l'arc, qui sont celles qui fournissent la majeure partie de la lumière utile, au lieu d'être normales à l'axe des charbons, s'inclinent no-

tablement du côté opposé à la direction du gaz, de telle sorte qu'elles se présentent plus directement aux régions de l'espace que l'on se propose d'éclairer. Fixité plus grande de l'arc et position plus avantageuse des surfaces dont l'incandescence est maximum, tels sont les avantages que procure cet emploi d'un faible courant d'oxygène dirigé sur les charbons.

XVIII. — *Association de l'incandescence de la magnésie à celle des charbons entre lesquels se produit l'arc voltaïque.*

(Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1868, t. LXVI, p. 837.)

J'ai pensé qu'en plaçant dans le voisinage de l'arc voltaïque, du côté opposé à celui où on veut envoyer la lumière, un corps capable de rendre sous forme de lumière la quantité énorme de radiations que lui envoient les charbons et l'arc lui-même, on pourrait mettre celles-ci avantageusement à profit, en même temps qu'on protégerait l'arc par une sorte d'écran annulant dans une région presque hémisphérique toutes les causes de dérangement. La magnésie remplit à un haut degré les deux conditions d'un faible pouvoir conducteur et d'une grande puissance d'irradiation qui étaient désirables. La zircone signalée par M. Caron pour l'éclairage oxyhydrique conviendrait encore mieux. Je me suis servi de cylindres de magnésie comprimée de 8 millimètres environ de diamètre, placés à une très-faible distance des charbons, de manière à être comme léchés par l'arc voltaïque; la lumière acquiert alors une constance remarquable.

Il serait désirable qu'on pût faire usage de charbons plus purs que ceux habituellement employés, dont les impuretés de nature siliceuse, volatilisées par l'arc, viennent à la longue vitrifier la surface de la magnésie, et diminuent son pouvoir d'irradiation.

XIX. — *De l'action de l'arc voltaïque sur les oxydes terreux et alcalino-terreux.*

(Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1868, t. LXVI, p. 1150.)

Si, pour réaliser l'expérience précédente, au lieu d'un cylindre de magnésie on emploie un cylindre de chaux que l'on pousse d'une manière continue contre les charbons, ceux-ci s'y creusent une véritable tranchée, où la chaleur se trouve condensée comme dans un four à réverbère:

la quantité de lumière émise augmente dans une forte proportion. Si à l'aide d'un verre noir on examine ce foyer de plus près, on voit que l'arc est remplacé par une sorte de nuage opaque lumineux, où l'on cesse de distinguer les pointes extrêmes des charbons, dont l'éclat est ordinairement si tranché : leur lumière est ici noyée dans celle du fond; il y a un dégagement, souvent fort abondant, de fumées blanchâtres, quelquefois même de petites explosions; enfin le spectroscope révèle un spectre discontinu, parsemé de raies très-brillantes dont quelques-unes sont très-larges; on y reconnaît celles qui sont données par les différents auteurs comme caractéristiques du calcium, mais elles sont ici beaucoup plus nombreuses, plus intenses et mieux définies.

Dans les mêmes conditions, la strontiane produit des effets analogues, la lumière prend alors une teinte rouge caractéristique; c'est là un moyen simple d'enrichir de rayons rouges la lumière électrique.

XX. — *Expériences diverses relatives à la production de la lumière voltaïque.*

(Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, 1868, 2e série, t. X, p. 270.)

J'ai réuni dans cet article les expériences précédentes en y joignant des considérations nouvelles sur la nature de l'arc voltaïque.

J'ai notamment appliqué à l'arc voltaïque un procédé que je crois nouveau pour étudier commodément la nature spectrale de la lumière émise par les différentes parties d'un corps lumineux. Ce procédé, que je compte appliquer aussi aux astres, consiste à projeter sur un écran, au moyen d'une lentille ou d'un miroir, une image agrandie ou rapetissée, suivant les cas, de l'objet lumineux que l'on veut étudier. Derrière une très-petite ouverture faite dans cet écran se place la fente du spectroscope, et en faisant mouvoir la lentille ou le miroir, on amène successivement les diverses parties de l'objet lumineux sur l'ouverture de l'écran, et on sait ainsi à chaque instant quelle est la partie du corps lumineux que l'on étudie. La flamme de l'arc voltaïque ainsi examinée est l'un des plus beaux spectacles de spectroscopie que l'on puisse imaginer.

Le spectre qu'elle fournit a la plus grande analogie avec les spectres donnés par M. Morren et par M. Plucker comme caractéristiques du carbone. Il me paraît évident que le carbone se trouve à l'état de vapeur dans la flamme voltaïque.

XXI. — *De l'induction et de ses applications à la construction des appareils électromédicaux.*

(Bulletin de la Société d'Encouragement, 2e série, t. XVI, page 202; 1869.)

Dans ce travail, je me suis proposé de classer méthodiquement les divers appareils électromédicaux fondés sur l'induction et d'analyser les phénomènes qui s'y passent.

J'ai cherché surtout à faire ressortir la liaison qui existe entre le courant induit dans la seconde hélice, ou hélice induite, et la manière dont se fait la cessation du courant inducteur. J'explique pourquoi le condensateur inventé par M. Fizeau, en même temps qu'il annule l'action destructrice des étincelles de l'extra-courant, augmente l'intensité du courant induit. C'est encore par l'influence de la loi de la décroissance de l'extra-courant que j'explique comment il se fait qu'avec certains modèles de la bobine de M. Ruhmkorff, il est désavantageux pour la production des étincelles induites de se servir d'autre métal que du platine pour les surfaces de l'interrupteur. On peut dès lors comprendre comment, même dans le cas de l'interrupteur en platine, l'étincelle induite peut, entre certaines limites, varier en sens inverse de l'intensité du courant inducteur. C'est un fait extrêmement curieux que je pense avoir signalé le premier, et que j'avais observé dans les expériences sur le pointage électrique que j'ai faites à propos de la mesure de la vitesse du son.

XXII. — *Sur les phénomènes électro-capillaires découverts par M. Becquerel.*

(Leçons de la Société chimique, Paris, Hachette, 1870; page 105.)

J'ai cherché dans ce travail à faire connaître la théorie physique des phénomènes électrocapillaires, découverte dont la portée est immense pour l'explication des fonctions des corps organisés. Dans la nature, en effet, les corps réagissants se trouvent le plus souvent mis en présence autrement qu'en masse et subitement mélangés dans toutes leurs parties;

ils n'y arrivent que gênés et dirigés dans leurs mouvements par des corps chimiquement inertes, mais dont l'influence se révèle par des forces purement physiques, lesquelles interviennent cependant pour changer la nature des réactions. C'est la réalité de l'existence de ces forces que j'ai cherché, d'après les idées de M. Becquerel, à mettre en évidence et à rendre indiscutable.

XXIII. — *Illumination des gaz raréfiés par induction électrostatique. — Bouteille de Leyde à armatures gazeuses.*

(Comptes rendus, t. LXVIII, pages 1104 et 1265; 1869.)

Un corps électrisé étant approché assez vivement d'un vase de verre, bien sec extérieurement, renfermant un gaz assez raréfié pour être conducteur, détermine au sein du gaz l'apparition d'une lueur souvent fort brillante. Le même effet se produit par l'éloignement du corps électrisé.

L'illumination n'a lieu que pendant le mouvement du corps électrisé, c'est-à-dire pendant tout le temps que varie la distance de celui-ci aux différentes parties du vase qui renferme le gaz. Il se produit un véritable courant qui s'établit entre les parties pour lesquelles la différence des tensions résultant de l'influence électrostatique est maximum. Si l'on tient le vase à la main, on voit le plus souvent le flux lumineux aboutir à la région que celle-ci occupe.

Un plateau de verre ou de caoutchouc, électrisé, tournant devant un tube isolé renfermant du gaz à un état convenable de raréfaction, n'y produit pas l'illumination; mais celle-ci apparaît si l'on a pratiqué de larges et profondes solutions de continuité sur le contour du plateau.

L'état de la surface du verre a une grande influence sur la manifestation de ces phénomènes; il est nécessaire qu'elle soit dans certaines conditions de sécheresse et de propreté extérieure, ce qui s'explique facilement. Dans les tubes renfermant du protoxyde d'azote, si l'on ajoute, comme on le fait depuis longtemps, de l'acide sulfurique fumant, lequel a la propriété d'augmenter la persistance de la phosphorescence, il accroît également l'intensité de l'illumination dans mes expériences; mais on doit se prémunir contre la présence d'une couche continue d'acide sulfurique sur les parois des tubes.

Dans le cours de ces expériences, j'ai remarqué que le verre se chargeait, par l'intermédiaire des conducteurs gazeux, avec la même facilité qu'au moyen des conducteurs métalliques. J'ai été amené ainsi à construire une bouteille de Leyde dans laquelle les armatures métalliques sont remplacées par du gaz raréfié : elle se compose d'un premier tube fermé, enveloppé par un second auquel il est soudé; chacun des tubes est muni d'un fil de platine; le vide y est fait jusqu'à 3 millimètres environ. Un tel système se charge comme une bouteille de Leyde de mêmes dimensions; les résidus paraissent y être moins abondants que dans les bouteilles ordinaires.

Les gaz raréfiés se comportant identiquement comme des conducteurs métalliques, il arrive en particulier qu'un tel milieu, affectant la forme de pointe, agit comme un métal façonné de la même manière et manifeste les mêmes effets de tension : c'est à ce point que, dans les vases de verre destinés à contenir du gaz en vue des expériences dont il vient d'être question, il faut éviter tout effilement des tubes donnant à la surface intérieure la forme d'une pointe aiguë. Si cette circonstance se présente et qu'on vienne à électriser fortement le gaz intérieur, on voit le plus souvent l'électricité se frayer un passage à travers le verre en cet endroit.

Cette illumination des gaz raréfiés par l'induction électrostatique intéresse l'explication de certains phénomènes météorologiques. Elle joue sans doute un rôle dans les manifestations lumineuses de l'électricité du globe. C'est ainsi que, si l'on admet que les aurores polaires soient constituées par des décharges intermittentes très-rapprochées, il doit se produire dans les couches raréfiées de l'atmosphère une induction qui doit les rendre lumineuses.

De même, lorsque, par l'effet de la décharge qui constitue la foudre, les nuées viennent à se reconstituer à l'état neutre, il doit en résulter dans les couches raréfiées de l'atmosphère un retour à l'état naturel manifesté de même par une illumination diffuse, laquelle explique très-probablement la plupart des lueurs auxquelles on donne le nom d'*éclairs de chaleur*. Au reste, cette illumination d'une masse gazeuse coïncidant avec le retour de celle-ci à l'état naturel est une expérience très-frappante et très-facile à réaliser. Il suffit pour cela de suspendre, dans le voisinage du conducteur de la machine électrique, un ballon rempli d'air raréfié; à chaque étincelle qu'on tire de ce conducteur, on voit s'illuminer la masse gazeuse contenue dans le ballon.

XXIV. — *Sur l'induction péripolaire.*

(Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1872, 2e semestre, t. LXXV, p. 1805.)

« Depuis la belle découverte, due à Faraday, de l'induction magnéto-électrique, on a beaucoup varié les expériences sur ce sujet; le plus grand nombre d'entre elles ont trouvé leur explication et sont rentrées sous des lois acceptées par tous les physiciens : ce sont celles où l'induction se trouve produite, dans un circuit fermé, par la variation de la distance de ses différentes parties à un pôle d'aimant ou par la variation de l'intensité magnétique de celui-ci.

» Mais il est un autre ordre de phénomènes d'induction, moins souvent réalisé, quoique aussi général que le premier : c'est celui où un corps conducteur se meut en présence d'un pôle magnétique, sans que la distance de chacun de ses points à ce pôle éprouve de variation. Tel est, par exemple, le cas d'un disque métallique tournant autour d'un axe passant par un pôle d'aimant.

» Parmi ses expériences sur l'induction dans un disque de cuivre tournant entre les pôles d'un aimant, Faraday a incidemment réalisé ce cas, mais sans y attacher spécialement son attention. En formulant la loi probable des phénomènes d'induction en général, loi fondée sur la réciprocité entre l'action électrodynamique et la force inductrice, M. Lenz présenta comme vérification expérimentale de son principe la réciproque de l'expérience de Faraday sur la rotation électrodynamique d'un aimant autour de son axe de figure, et il avança que, mis en rotation autour de cet axe, un aimant induisait un courant dans un circuit fixe se fermant sur des conducteurs circulaires entraînés avec l'aimant. M. Weber, Matteucci et d'autres physiciens ont varié cette expérience de bien des manières, sans peut-être suffisamment distinguer les uns des autres certains cas qui ne sont pas réellement équivalents. L'ensemble de ces expériences forme ce que M. Weber appelait l'*induction unipolaire* et Matteucci l'*induction axiale*. On peut voir le détail du plus grand nombre d'entre elles dans le *Cours spécial sur l'induction, etc.* de ce dernier auteur (1). Déjà, dans cet ouvrage, Matteucci se refuse, con-

(1) Matteucci, *Cours spécial sur l'induction, etc.*; Paris, Mallet-Bachelier, 1854.

trairement à la loi de Lenz, prise par Neumann comme fondement de sa théorie de l'induction, à admettre que les phénomènes d'induction, de l'espèce qu'il appelait *axiale*, aient une liaison nécessaire avec la rotation électrodynamique. Plus tard, l'opinion de Matteucci s'accentue davantage. Peu de temps après que Foucault eut réalisé son expérience de l'échauffement d'un disque métallique tournant entre les armatures d'un électro-aimant, Matteucci essaye de compléter les armatures de l'appareil de Foucault de manière à rapprocher les pôles de l'axe de rotation du disque. De quelques expériences galvanométriques qu'il est inutile de rapporter, et dans lesquelles il mettait en communication le centre et la circonférence du disque, Matteucci conclut : « Ces résultats conduisent aux mêmes conséquences que j'avais déjà tirées de mes expériences sur l'induction axiale, c'est-à-dire qu'on ne peut pas admettre l'existence des courants dans le disque, mais que ces courants sont déterminés par l'application sur le disque tournant des extrémités du circuit fixe et fermé du galvanomètre (1). »

» M. Felici, qui a publié de nombreux Mémoires sur la théorie des phénomènes d'induction, a, de son côté, combattu l'universalité de la loi de Lenz (2), et enfin, par une interprétation, qui n'était nullement nécessaire, d'une expérience galvanométrique, il arrive à conclure dans le même sens que Matteucci, mais encore plus explicitement, puisqu'il imagine un nouveau principe physique d'après lequel, « lorsqu'il y a un continuel changement dans les points de contact de deux conducteurs en présence d'un aimant, il y a aussi dans les mêmes points une force électromotrice induite (3). »

» Du rapide exposé qui précède on peut conclure que les travaux les plus modernes ont obscurci et compliqué la théorie de l'induction au lieu de l'éclairer et de la simplifier. Il m'a semblé que les incertitudes et même les erreurs des physiciens que je viens de citer provenaient de ce que les phénomènes qu'ils voulaient étudier étaient produits sur une trop petite échelle et ne sortaient pas de l'ordre de grandeur des perturbations possi-

---

(1) MATTEUCCI, *Sur l'induction axiale* (*Comptes rendus*, t. XLIX, p. 846; 1859).

(2) FELICI, *Mémoire sur la loi de Lenz* (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. L, p. 378).

(3) FELICI, *Sur la cause des courants que l'on obtient dans un circuit dont les bords immobiles s'appuient sur un conducteur tournant autour de l'axe d'un aimant cylindrique* (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LVI, p. 106; 1859).

bles. Je me suis donc proposé de produire des effets qui ne fussent pas bornés à des indications galvanométriques, et ce résultat a été pleinement atteint, puisque j'ai pu obtenir d'un disque, tournant dans les conditions qui vont être décrites, un courant dont la rupture se manifeste par une vive étincelle, dont la force électromotrice approche de celle d'un élément à sulfate de cuivre, et que l'électroscope peut y constater la tension de l'électricité induite.

» Voici la disposition de mon appareil, lequel a été construit par M. Ruhmkorff avec l'habileté qu'on lui connaît : Un disque de cuivre rouge de 15 centimètres de diamètre, d'une épaisseur de 2 millimètres environ, peut recevoir d'un système d'engrenages un mouvement de rotation de 180 tours au maximum par seconde. Ce disque se meut entre deux masses circulaires de fer doux, qui en sont aussi rapprochées que possible et lui sont concentriques. Ces deux masses sont portées par une sorte de châssis rectangulaire en fer doux, dont elles occupent intérieurement le milieu des plus longs côtés ; quatre bobines électrodynamiques entourent les parties de ce châssis qui avoisinent les deux masses dont il vient d'être question, de telle façon que celles-ci acquièrent des polarités contraires. Tout est disposé avec la plus parfaite symétrie pour que la ligne des centres de figure de ces masses puisse être considérée comme contenant leurs pôles. Les choses étant ainsi disposées, on aimante l'appareil en y lançant le courant d'un certain nombre d'éléments de Bunsen.

» Si l'on applique la loi de Lenz à un tel système, il est facile de voir qu'il doit naître dans le disque des forces électromotrices qui sont toutes radiales ; il n'y aura donc production de courant qu'autant que, au moyen de frotteurs convenablement disposés, on fera communiquer la circonférence du disque avec sa partie centrale.

» En effet, si l'on fait tourner le disque sans établir une telle communication, on reconnaît qu'il n'y a, si intense que soit l'aimantation, aucune dépense de force autre que celle occasionnée par les frottements (1). Mais si,

---

(1) Cette circonstance est d'autant plus probante que mon appareil est d'une puissance remarquable quand on en fait un appareil de Foucault, transformation qui peut s'opérer instantanément, car les masses polaires sont coupées en deux suivant un plan diamétral ; on n'a qu'à enlever deux moitiés correspondantes pour dégager à moitié le disque tournant. Cette suppression a pour effet de déplacer les pôles des armatures et de les faire sortir de l'axe de rotation du disque. Dans ce cas, deux hommes, agissant sur de très-fortes manivelles, ne peuvent faire faire au disque un demi-tour seulement par seconde quand on lance dans l'ap-

au moyen d'un arc métallique court et d'une grande section, on met en communication l'axe du disque et la circonférence de celui-ci, on constate l'existence d'un courant qui se manifeste par de vives étincelles. Le sens de ce courant est bien d'accord avec la loi de Lenz; il change avec le mouvement de rotation et aussi avec l'aimantation. J'ai trouvé, par la méthode d'opposition, que la force électromotrice peut atteindre, suivant la vitesse de la rotation et l'intensité de l'aimantation, jusqu'à près de trois fois la force électromotrice de l'élément zinc amalgamé-sulfate de zinc, cadmium-sulfate de cadmium.

» On voit qu'il y a là une production d'électricité qui ne peut être attribuable à des causes accidentelles; elle est comparable à celle qui se produit dans les machines magnéto-électriques fondées sur les variations de la distance à un pôle magnétique ou sur celles de son intensité. Il faut, en effet, remarquer qu'ici le circuit induit est très-court, puisqu'il est réduit au rayon du disque.

» On a proposé plusieurs formules élémentaires pour base des théories mathématiques de l'induction; elles satisfont toutes aux expériences qu'on peut réaliser sur les circuits fermés. Mais les observations relatives aux circuits non fermés sont en très-petit nombre, et nous avons vu que plusieurs physiciens avaient suggéré à leur sujet des objections diverses. La principale consistait à dire que, l'observation nécessitant la fermeture des circuits, on ne pouvait affirmer que la cause des courants manifestés préexistât à la fermeture elle-même. Cette difficulté n'est peut-être pas si insoluble qu'elle a pu le paraître jusqu'ici. Si, en effet, des forces inductrices ont leur siége dans quelque partie d'un conducteur, cela veut dire qu'il s'y produit des tensions électriques en vertu desquelles l'écoulement de l'électricité aura lieu si le circuit vient à être fermé par un conducteur supposé inerte. Mais la production de ces tensions doit être indépendante de l'existence de cette portion accidentelle du circuit, et, en son absence, on doit cependant constater une tension électrique sur le corps qui serait le siége d'une induction. C'est ce que l'on peut réaliser avec le disque tournant de mon appareil. Je n'ai pas à ma disposition d'appareil électroscopique simple suffisamment sensible pour agir sous la seule influence du disque; mais j'ai

---

pareil le courant d'un seul élément de Bunsen. Pour pouvoir tourner, il faut n'employer qu'un seul élément à sulfate de cuivre; au bout de quelques minutes, on constate l'échauffement du disque, conformément à l'expérience de Foucault; si l'on complète les armatures, toute résistance au mouvement cesse aussitôt.

pu faire parler l'électroscope condensateur en mettant, par exemple, le centre du disque en communication avec la terre et sa circonférence avec l'un des plateaux de l'électroscope.

» Je crois qu'on ne peut plus douter maintenant que le mouvement d'un corps tournant autour d'un axe passant par un pôle d'aimant n'y induise des forces électromotrices radiales.

» Quoique ce cas fasse partie de ceux que Matteucci avait compris sous le titre *d'induction axiale*, il ne me paraît pas que cette dénomination lui convienne. En effet, d'après la relation indiquée par la loi de Lenz, la condition suffisante et nécessaire est que le pôle agissant se trouve situé sur l'axe de rotation du corps, tandis que Matteucci admettait comme condition essentielle des expériences de ce genre la coïncidence de la ligne des pôles avec l'axe de rotation.

Du moment que les forces électromotrices qu'on avait imaginées exister aux contacts mobiles sont démontrées inutiles pour le cas d'un conducteur perpendiculaire à un axe de rotation contenant le pôle d'un aimant, on en déduit la réalité de l'induction dans un conducteur parallèle à ce même axe, et par conséquent aussi dans un conducteur faisant avec lui un angle quelconque.

» C'est là toute une classe de phénomènes d'induction caractérisée par cette circonstance que les différents points du corps restent à la même distance du pôle agissant : c'est ce que j'appellerai l'*induction péripolaire*, en donnant le nom de *diapolaire* à toute induction naissant de la variation de la distance à un pôle.

» Qu'il me soit permis d'ajouter que, en dehors de son importance théorique, la démonstration de l'existence de l'induction péripolaire peut ne pas être sans intérêt pour l'explication de certains phénomènes électriques naturels, qui seraient ainsi sous la dépendance du magnétisme terrestre, notamment de ceux qui coïncident avec les mouvements de l'atmosphère. »

II.

OPTIQUE.

I. — *Recherches sur les indices de réfraction des corps qui ne prennent l'état gazeux qu'à des températures élevées.*

(Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1860, t. LI, p. 171. — Annales de Chimie et de Physique, 3ᵉ série, 1861, t. LXI, p. 385.)

Je me suis proposé dans ce Mémoire d'étudier dans quelles conditions on pourrait espérer surmonter les difficultés expérimentales qui avaient jusqu'alors empêché d'aborder l'étude de la réfraction des substances gazeuses à des températures élevées. Il m'a semblé qu'en dehors de l'intérêt qu'une telle recherche avait au point de vue de la physique, elle pourrait un jour rendre à la chimie des services analogues à ceux que l'étude des densités lui a déjà rendus depuis que la méthode de M. Dumas est venue vulgariser dans les laboratoires de chimie une opération qui jusqu'alors était restée presque exclusivement le domaine du physicien.

J'ai été assez heureux pour faire voir dans ce premier travail que le problème n'était pas inabordable, qu'il était possible de réunir toutes les conditions nécessaires pour donner aux observations toute la précision désirable. J'ai pu évaluer très-approximativement pour les vapeurs de mercure, de phosphore, de soufre et même d'arsenic, leur indice relativement à l'air porté aux températures d'ébullition de ces substances; pour en déduire leur indice absolu, il faudrait connaître l'indice absolu de l'air dans les mêmes conditions.

L'appareil que j'ai employé se compose d'une caisse très-allongée, au milieu de laquelle se trouve placé le prisme rempli de la vapeur à étudier; cette caisse est fermée aux deux bouts par des glaces à faces parallèles; elle est plongée par sa partie médiane dans un bain de métal fusible; ses extrémités sont refroidies par des courants d'eau. Le tout est monté au milieu d'un fourneau supporté par un axe vertical portant un cercle divisé. On peut faire tourner tout le système de 180 degrés pour éliminer certaines erreurs de pointage et d'orientation en même temps qu'on double les angles. Un collimateur envoie sur le prisme un faisceau de rayons parallèles, suivant la

méthode si heureuse inaugurée par M. Babinet dans son goniomètre; une lunette d'un très-fort grossissement permet, au moyen d'un micromètre divisé, de mesurer la déviation que la vapeur contenue dans le prisme imprime aux rayons incidents.

L'Académie des Sciences a voulu encourager par son approbation ces recherches, si incomplètes qu'elles fussent, et a voté l'insertion de ce premier travail dans les *Mémoires des Savants étrangers*. (*Comptes rendus*, 1860, t. LI, p. 800.)

Depuis cette époque, je n'ai cessé de travailler à perfectionner les moyens d'observation que j'avais tout d'abord dû employer, et cela aussi rapidement qu'ont pu me le permettre des ressources entièrement personnelles. Les lunettes fixées à des supports métalliques scellés dans le mur sont absolument fixes, le fourneau a été modifié de façon que la température pût être réglée avec facilité et par suite mesurée. Mais les efforts les plus persévérants ont dû porter sur la construction des prismes : construits en métal, ils offraient l'inconvénient d'être attaqués par la plupart des vapeurs qu'on peut avoir intérêt à étudier et surtout d'être plus dilatables que les glaces servant à les fermer. J'en ai fait construire en porcelaine ; mais un défaut inverse a dû en faire abandonner l'emploi, la porcelaine étant beaucoup moins dilatable que les verres ordinaires, et les glaces qui ferment le prisme restant adhérentes à ses parois lorsque la température descendait au-dessous de 300 degrés ou environ, il en résultait une déformation des surfaces qui causait l'altération des images et finalement la rupture des glaces un peu avant que celles-ci fussent revenues à la température ordinaire. Il arrivait ainsi que les glaces parallèles qui ferment un prisme, dispendieuses et difficiles à obtenir avec les qualités convenables, étaient nécessairement sacrifiées par une seule expérience, et encore ne pouvait-on s'en servir utilement qu'au delà de 300 degrés. D'ailleurs il était impossible d'arriver à tenir le vide, soit en dedans, soit en dehors du prisme.

Pour arriver à une solution définitive de ces questions, j'ai dû chercher à résoudre le problème de la construction de vases entièrement construits de morceaux d'un même verre, dont certaines parties pussent être travaillées optiquement, et ensuite soudées aux autres sans déformation. J'ai étudié des procédés nouveaux de moulage d'objets en verre pouvant présenter des cavités de forme quelconque, question qui n'était pas sans difficultés, à cause de la fragilité de la matière. Cela fait, j'ai cherché à composer des verres spécialement destinés à réunir les diverses pièces de mes prismes, en manière de lut ou de mastic; pour cet usage, il fallait une composition qui fût beaucoup

plus fusible que le verre ordinaire, tout en présentant la même dilatation ou à peu près. J'ai été assez heureux pour rencontrer les ressources nécessaires dans l'infinie variété des borates métalliques. Les borates de plomb sont extrêmement fusibles, mais très-dilatables; certains borates, tels que ceux de zinc, d'étain, d'oxydule de cuivre, etc., qui exigent une température beaucoup plus élevée pour se liquéfier, ont aussi des coefficients de dilatation beaucoup moindres. Comme tous ces corps peuvent se mélanger dans des proportions quelconques, on arrive assez facilement, en suivant une marche que j'ai déterminée, à composer des mélanges beaucoup plus fusibles qu'un verre donné et présentant sensiblement la même dilatation.

Dans ces nouvelles conditions, qui me permettront de faire le vide dans les appareils et de les maintenir pendant longtemps en expérience, il me sera bientôt possible d'étudier la réfraction et la dispersion des gaz, depuis les températures ordinaires jusque vers le rouge naissant, soit sous volume constant, soit sous volume variable, de façon à pouvoir désormais affranchir l'observation des indices des vapeurs de l'obligation de faire le vide autour des prismes.

D'un autre côté, j'ai étudié un certain nombre de substances naturelles au point de vue de la possibilité d'en faire des vases fermés par des plaques parallèles. J'ai reconnu en particulier que certains sels gemmes résistaient parfaitement à l'élévation de la température, qu'avec un outillage spécial que je prépare il me serait possible d'y tailler des prismes qui permettraient de soumettre la vapeur de sodium à l'expérience; j'espère pouvoir même en dire autant pour le potassium, grâce au chlorure de potassium cristallisé que l'on a rencontré depuis quelques années en assez beaux échantillons dans certaines mines de sel gemme.

II. — *Sur la dispersion anormale de la vapeur d'iode.*

(Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1862, t. LV, p. 126.)

L'iode m'a offert cette particularité que tandis que les vapeurs du soufre, du phosphore et des autres corps que j'ai eu l'occasion d'étudier donnaient lieu à des spectres dans lesquels la déviation des rayons rouges était moindre que celle des rayons bleus, dans le spectre de la vapeur d'iode, qui ne contient que ces seuls rayons, ils se trouvent disposés dans un ordre inverse. Il faut remarquer que le prisme étant placé dans l'air, la dispersion apparente est la différence entre la dispersion de la vapeur et celle de l'air qui agit de manière à renverser le spectre, de telle sorte que pour prononcer

définitivement sur la question de savoir si tout ou partie de ce renversement doit être attribué au milieu ambiant, il faudrait pouvoir faire le vide autour du prisme, ce qu'il m'a été impossible jusqu'ici de réaliser. J'ai essayé, il est vrai, de faire le vide dans l'intérieur du prisme à la température à laquelle j'opérais sur l'iode, mais je n'ai pu obtenir qu'une raréfaction incomplète, suffisante cependant pour qu'on puisse présumer que tout l'effet n'est pas dû à l'air. Quoi qu'il en soit, la question ne pourra être résolue définitivement qu'avec les nouveaux appareils dont j'ai cherché à donner une idée dans l'article précédent ; mais ce qui peut être regardé comme acquis, c'est que le pouvoir dispersif de la vapeur d'iode, s'il n'est pas négatif, serait à peu près nul quoique son indice soit plusieurs fois celui de l'air.

III. — *Expériences destinées à mettre en évidence le défaut d'achromatisme de l'œil. — Explication d'un certain nombre d'apparences dues à cette cause.*

(Annales de Chimie et de Physique, 1862, 3e série, t. LXVI, p. 173.)

Dès mes premiers essais sur l'étude de la dispersion des milieux gazeux, je reconnus dans la vision des spectres très-peu dilatés certaines anomalies dont je vis bientôt qu'il fallait attribuer la cause à l'œil lui-même. J'ai institué un certain nombre d'expériences tout à fait objectives pour démontrer le défaut d'achromatisme de l'œil, sujet controversé depuis longtemps. Le principe de mes expériences est fondé sur ce fait, que tout rayon de lumière qui n'entre pas normalement dans un milieu réfringent terminé par une surface courbe, éprouve une dispersion d'autant plus grande qu'il pénètre plus obliquement. Le milieu réfringent est ici l'œil, qui peut être considéré à très-peu près comme une masse aqueuse limitée par une enveloppe courbe, la cornée transparente. Dans la vision ordinaire, un point lumineux envoie un faisceau conique de rayons qui a sensiblement pour base l'ouverture de la pupille et dont les pinceaux élémentaires viennent faire sur la rétine des images où les couleurs sont d'autant plus dispersées que ces pinceaux sont plus excentriques. L'œil s'adapte de façon à superposer en partie les cercles de diffusion chromatique qui en résultent, et la perception des images se fait comme par une sorte de moyenne. Dans la vision par pinceaux étroits, isolés, les choses ne se passent pas de la même manière : si le pinceau considéré ne tombe pas normalement sur la surface de la cornée, il est dispersé ;

on voit les couleurs séparées. Une des expériences que j'ai instituées sur ce sujet consiste à regarder, au moyen d'une loupe, un petit trou éclairé directement par le soleil, dont on réduit la lumière au rouge et au bleu en interposant un verre coloré. En laissant ce petit appareil fixe dans l'espace et déplaçant l'œil devant, on voit deux images du trou, l'une bleue, l'autre rouge, déviées dans un sens ou dans l'autre, ou bien superposées, suivant que le pinceau lumineux rencontre la cornée sur le bord droit ou sur le bord gauche, ou bien au centre.

Dans cette même expérience, on peut se rendre compte de l'intervention des rayons ultra-violets sur les phénomènes de la vision, en interposant entre le soleil et le trou éclairé un verre d'urane qui absorbe pour la plus grande partie les rayons ultra-violets; on voit alors disparaître l'auréole qui entoure les images des orifices éclairés directement par le soleil.

Ces expériences ont des conséquences intéressantes pour l'étude des conditions auxquelles doivent satisfaire les oculaires des lunettes pour les pointés, et aussi pour l'étude de la position des couleurs dans les spectres très-peu dilatés, tels que ceux qui résultent de la dispersion produite par les gaz.

IV. — *Théorème sur la relation de position des vibrations (suivant Fresnel) incidente, réfléchie et réfractée dans les milieux isotropes.*

(Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1867, t. LXIV, p. 38. — Annales de Chimie et de Physique, 4e série, t. X, p. 332.)

Parmi les lois expérimentales de la polarisation qui paraissent le plus solidement établies, on doit compter celle de la rotation des plans de polarisation dans la réflexion et la réfraction par des milieux isotropes, laquelle s'exprime par la formule

$$\frac{\tang\alpha}{\cos(i-r)} = \frac{\tang\alpha'}{\cos(i+r)} = \tang\alpha'',$$

α, α' et α'' étant les azimuts de polarisation des rayons incident, réfléchi et réfracté.

Quand Mac-Cullagh eut découvert que les transversales des trois rayons, c'est-à-dire les perpendiculaires à ces rayons menées dans les plans de polarisation, étaient parallèles à un même plan, qui est le plan de polarisation du rayon réfracté, la simplicité de cette relation attira vivement l'attentinn. Dans ces dernières années, M. Cornu en a déduit un théorème fort élégant. Mais les préoccupations de Mac-Cullagh, contraires à la théorie

de Fresnel, lui firent négliger de tirer de son théorème toutes les conséquences qu'il pouvait avoir dans le sens des idées du physicien français. Cependant les vibrations suivant Fresnel étant liées aux transversales de Mac-Cullagh par la relation simple de perpendicularité, il y avait lieu d'espérer également une relation simple de position entre ces vibrations. C'est en effet ce qui arrive : si l'on considère les ondes qui se croisent en un même point de la surface de séparation des deux milieux, les vibrations, incidente et réfléchie, sont (en direction) les projections de la vibration réfractée sur les ondes incidente et réfléchie.

En effet, la vibration de Fresnel étant perpendiculaire au plan de polarisation est perpendiculaire à la transversale de Mac-Cullagh, et comme, d'après le géomètre anglais, le plan de polarisation du rayon réfracté contient les trois transversales, il s'ensuit que la vibration réfractée est perpendiculaire aux transversales des rayons incident et réfléchi. Cela posé, prenons par exemple la vibration réfléchie : elle est perpendiculaire à la transversale du rayon réfléchi, et le plan de ces deux droites n'est autre chose que l'onde réfléchie; la vibration réfractée est oblique à ce plan, mais elle est perpendiculaire à l'une de ces deux droites qui passent par son pied dans ce plan, à la transversale du rayon réfléchi; elle se projette donc sur ce plan suivant la seconde, qui est la vibration réfléchie.

En répétant un raisonnement identique à celui qui précède, on verrait de même que la projection de la vibration réfractée sur l'onde incidente a lieu suivant la vibration incidente.

V. — *Sur certaines causes déterminantes de la sensation du creux et du relief.*

(Les Mondes, 1866, t. XII, p. 511.)

J'ai cherché à approfondir un certain nombre de questions d'optique physiologique, et j'ai, sur ce sujet, un grand nombre d'observations inédites. Celle dont le titre précède a été seule publiée; en voici la substance.

Supposons qu'en regardant la lune dans une lunette d'un assez fort grossissement, on incline la tête de façon, par exemple, que, l'œil droit étant à l'oculaire, l'œil gauche soit placé le plus bas possible au-dessous. Si, en portant l'attention sur une région circonscrite de l'astre, on voit en relief une certaine série de cratères, les apparences de relief se transforment ordinairement en creux, lorsqu'on vient à tourner la tête en sens inverse, de

façon que l'œil gauche passe au-dessus de l'œil droit pendant que celui-ci continue à observer. La condition essentielle de cette transformation de sensation est que la ligne des yeux ait fait entre les deux contemplations une rotation comprise entre 90 et 180 degrés.

Je n'ai pas trouvé que, pour un même observateur, la sensation primaire fût nécessairement déterminée et dépendît de l'inclinaison de la tête.

Voici, suivant moi, l'explication de ces changements de sensation, dont l'un, au moins, est une illusion du jugement. Étant donnée une certaine ombre, dont les contours ne soient pas très-nettement définis et ne nous rappellent pas dès l'abord celle d'objets dont la vue nous est familière, nous pouvons avec autant de raison la regarder comme l'ombre d'un certain corps saillant, la lumière étant supposée venir de droite, ou bien d'un autre corps saillant, la lumière étant supposée venir de gauche, lorsque nous n'avons aucune notion sur le côté d'où elle vient.

Pour les objets qui nous sont accessibles ou familiers, nous savons reconnaître du premier coup d'où vient la lumière ; le travail de notre esprit qui détermine les éléments de notre conviction est instinctif. Quand il s'agit d'objets célestes, une partie de ces éléments instantanés nous manque évidemment ; mais notre esprit a tellement pris l'habitude d'être en présence de problèmes de ce genre complétement déterminés, qu'il préjuge immédiatement de la direction de la lumière.

Cette direction, nous la rapportons instinctivement à l'ensemble de notre individu supposé dans ses conditions habituelles d'attitude, c'est-à-dire la ligne des yeux étant perpendiculaire à l'axe de symétrie du corps. Une inclinaison différente de la ligne des yeux sur cet axe étant un fait accidentel, dont nous n'avons aucunement l'habitude de tenir compte, notre jugement instinctif finit par la négliger dans tous les cas ; de telle sorte que lorsque cette condition vient à changer (quand nous renversons la tête de l'autre côté), nous attribuons à un changement dans les conditions de l'objet contemplé l'inversion qui se produit dans les impressions que reçoit notre rétine ; et comme, dans l'usage habituel que nous faisons de nos yeux, l'inconnue la plus indéterminée est l'état de creux ou de relief, c'est à elle que notre jugement reporte les conséquences de ce changement. En approfondissant les raisons déterminantes de nos appréciations, nous voyons qu'elles comportent l'admission de certainees conditions que nous avons l'habitude de réaliser ; de telle sorte que nous finissons par conclure trop vite du général au particulier, et c'est de là, le plus souvent, que naît le genre particulier de fausseté de nos jugements, que l'on appelle *illusion des sens.*

VI. — *Perfectionnements apportés à l'emploi du magnésium comme source de lumière. — Constatation de ses propriétés phosphorogéniques.*

(Les Mondes, 1865, t. VII, p. 52; 1866, t. X, p. 242.)

J'ai contribué pour la plus grande part à la création de la forme définitive des petits appareils le plus généralement employés pour la combustion du magnésium. J'ai reconnu que le zinc pouvait se brûler associé au magnésium sous forme de rubans ou de fils en produisant une lumière dont les propriétés sont très-analogues à celle du magnésium. J'ai eu l'occasion de signaler la grande puissance phosphorogénique de la lumière émise par le magnésium en combustion.

VII. — *Du rôle de l'œil dans la vision à l'aide des instruments d'optique et d'un appareil destiné à l'essai des oculaires.*

(Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, 1868, procès-verbaux des séances.)

Dans les appareils destinés à augmenter la puissance de la vision, celle-ci s'opère par des pinceaux de rayons généralement beaucoup plus étroits que l'ouverture de la pupille. Il en résulte des aberrations chromatiques et autres dépendant, d'une part, de l'incidence de ces pinceaux avec la surface de la cornée; d'autre part, des irrégularités locales de l'organe : les secondes sont tout à fait spéciales à l'œil qui observe, mais les premières peuvent être en quelque sorte prévues par l'instrument. C'est pour remplir ce but que j'ai disposé un appareil dont l'effet est de permettre à un observateur d'apprécier l'effet que devra produire un oculaire donné appliqué à un objectif parfait, et cela sans avoir besoin d'associer réellement cet oculaire à un tel objectif. Le principe que j'ai mis en usage est très-simple; il consiste à observer à l'aide de l'oculaire donné une plaque percée de petits trous éclairés par une lumière très-faiblement divergente, telle que celle qui fournit au foyer d'un objectif l'image d'un point lumineux. On peut étudier ainsi d'une manière tout à fait indépendante les conditions auxquelles doit satisfaire un oculaire, et on reconnaît qu'elles sont loin d'être les mêmes pour des yeux différents. Il y a évidemment là, pour l'appréciation des appareils d'optique, une série de difficultés à laquelle il m'a semblé utile de chercher à porter remède.

Depuis l'époque où les indications qui précèdent ont été imprimées, ce travail a paru en entier dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement*, 2e série, tome XVIII, page 484. En outre des points précédemment rappelés, j'ai étudié la position que devait occuper l'œil pour que les aberrations chromatiques qui proviennent de cet organe fussent aussi faibles que possible. En tenant compte de ce fait que, pour explorer les diverses parties du champ, l'œil tend à tourner dans son orbite, j'ai fait voir qu'il y avait intérêt à ce que l'oculaire fût tellement construit que l'œil se plaçât naturellement de façon que son centre de mouvement coïncide avec le centre de l'anneau oculaire.

VIII. — *Sur certaines illusions des perceptions visuelles.*

(Les Mondes; 2e série, t. XXI, page 477.)

J'ai été amené à reconnaître que le champ de la vision indistincte jouissait d'une propriété spéciale sur laquelle l'attention des divers observateurs ne paraît pas avoir été jusqu'ici attirée.

Si on vient à lire quelques lignes dans le voisinage desquelles se trouve tracée une ligne serpentante à ondulations suffisamment prononcées, il semble qu'on voie cette ligne serpenter. J'explique ce fait ainsi : pendant que l'œil dirige successivement vers les différentes parties de la ligne lue la région de la rétine qui correspond au champ de la vision attentive et particulièrement distincte, c'est-à-dire la *fovea centralis*, le champ de la vision indistincte procure une perception plus ou moins vive des parties qui environnent les lignes que nous lisons. Mais comme l'habitude nous a rendus inconscients du mouvement par lequel notre œil parcourt celles-ci, notre jugement attribue aux lignes en question le mouvement qu'elles devraient avoir pour produire sur l'organe supposé en repos la même succession de sensations que celle qu'il ressent.

Ce mode d'illusion est tout à fait spécial au champ de la vision indistincte; si nous cherchons à parcourir du regard la courbe serpentante, autrement dit à en *fixer* successivement les différents points, ce qui se fait en déplaçant l'œil de façon que les différentes parties de la figure viennent faire successivement leur image sur la *fovea centralis*, il n'y a plus aucun mouvement qui fasse *serpenter* les lignes.

Le champ de la vision indistincte paraît être spécialement sensible aux changements qui se produisent dans le tableau offert à nos regards. Le champ de la vision indistincte est parfaitement impuissant à définir les objets, de même qu'à en apprécier exactement la couleur, surtout dans les régions un peu éloignées de la *fovea centralis ;* mais il nous avertit fidèlement des mouvements des objets : il éveille ainsi notre attention, et nous dirigeons alors vers le point signalé l'axe visuel qui correspond au champ de la vision distincte.

IX. — *Sur la multiplicité des images oculaires et la théorie de l'accommodation.*

(*Comptes rendus*, t. LXXV, p. 1268.)

Les images multiples sont un fait anciennement connu : Kepler voyait jusqu'à dix lunes. On a imaginé, pour expliquer cette polyopie monoculaire, plusieurs théories; leur discussion fait voir facilement qu'elles ne sont pas acceptables. L'expérience m'a appris que, par des pressions très-faibles exercées, en des points convenables, sur le globe de l'œil, on pouvait donner à ces images multiples des positions relatives variables; qu'on pouvait même les amener à se superposer.

La seule explication possible de ce fait consiste à admettre que le cristallin agirait comme un objectif composé de plusieurs morceaux qui n'auraient pas le même centre optique, mais qui pourraient, par des pressions convenables, l'acquérir, puisqu'on peut leur faire subir des déplacements relatifs capables d'amener à la superposition les images qu'ils donnent individuellement. Il me paraît probable que les cloisons qui partagent le cristallin en secteurs sont, en quelque sorte, des plis qui permettent le déplacement de ces secteurs sous l'influence de pressions exercées peut-être par le muscle ciliaire et aussi par les paupières dont l'influence sur la netteté de la vision n'est certainement pas douteuse.

III.

CHALEUR. — ACTIONS MOLÉCULAIRES. — MÉCANIQUE.

I. — *Sur les phénomènes de chaleur qui accompagnent dans certaines circonstances le mouvement vibratoire des corps.*

(Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1860, t. L, p. 656 et 729.)

J'ai reconnu que lorsqu'on crée un nœud dans un corps vibrant, il y a dégagement de chaleur à l'endroit de ce nœud.

On prend une petite lame de bois, d'ivoire, ou de toute autre matière du même genre, d'une dizaine de centimètres de longueur, de 1 à 2 millimètres d'épaisseur et d'une largeur de 8 à 10 millimètres. On la serre à quelque distance de l'un de ses bouts avec une pince plate, et on lui communique une vibration violente en présentant son extrémité libre à une roue dentée, telle que celle du banc de Savart; au bout de quelques secondes, on trouve que la lame est fortement échauffée au point où on la serre. Cet échauffement est d'ailleurs très-sensible ; le plus souvent il suffit, pour le constater, d'y porter le doigt.

On peut aussi obtenir un effet semblable en fixant sur la lame, vers le bout par lequel on excite les vibrations, un petit curseur, qui doit occuper une surface d'environ un centimètre carré, sans que sa masse soit d'ailleurs trop considérable par rapport à celle de la lame : autrement, on briserait presque infailliblement celle-ci. Si cette masse additionnelle est, par exemple, un petit morceau de bois collé avec de la colle forte depuis assez peu de temps, de façon que celle-ci n'ait pas eu le temps de sécher complétement, on voit cette petite masse s'échapper, par suite du ramollissement de la colle opéré par l'élévation de la température.

Le phénomène que je viens de signaler peut servir à expliquer plusieurs effets très-fréquents dans les opérations de l'industrie mécanique. On peut aussi en conclure que lorsqu'on étouffe les vibrations d'un corps, une certaine partie de la force vive du mouvement vibratoire se transforme en chaleur.

Des expériences analogues peuvent se faire avec les métaux. Par exemple,

j'ai pris un morceau de ressort d'acier, auquel j'ai soudé, avec de la soudure des plombiers, un petit morceau de cuivre. Mais, comme chaque vibration ne fournit qu'une très-petite quantité de chaleur et que dans le cas des métaux, celle-ci se trouve dissipée rapidement par conductibilité, j'ai dû recourir aux effets thermo-électriques pour la manifester. A cet effet, un fil de fer était soudé à la lame d'acier et un autre de cuivre à la masse de cuivre, de manière à former un véritable couple thermo-électrique cuivre-fer. Au moyen d'un galvanomètre sensible, il est facile de reconnaître que l'état vibratoire produit dans un tel système le même effet qu'une addition de chaleur à l'endroit de la soudure.

Des expériences analogues avaient pu faire penser à M. Sullivan et à M. Ermann (*voir* DE LA RIVE, *Traité d'Électricité*), qu'une vibration communiquée à la soudure de deux corps hétérogènes, se transformait directement en un courant électrique. Il paraît évident, d'après ce qui précède, que la production de la chaleur précède celle du courant électrique, qui n'en est que la conséquence. L'expérience montre d'ailleurs bien clairement la liaison de ces deux phénomènes, car le courant cesse bien avec la vibration, mais non pas aussi immédiatement que lorsqu'on vient à rompre le circuit : ce qui montre que, quand la vibration cesse, le courant ne prend fin qu'à cause de l'évanouissement rapide de l'élévation de température.

II. — *Sur un nouveau procédé de thermoscopie. — Variations de température observées dans les déformations élastiques des métaux.*

(Bulletin de la Société Philomathique, 1860, p. 113.)

Je m'étais proposé de mettre en évidence, même dans les cas ou elles sont très-faibles, les variations de température qui accompagnent les déformations élastiques des corps solides. J'y suis parvenu par un procédé thermoscopique entièrement nouveau, et pour l'explication duquel j'en suis réduit moi-même aux hypothèses.

Voici les faits. On enferme dans un réservoir formé d'une substance peu conductrice de la chaleur (de bois, par exemple) un certain nombre de ressorts formés d'un fil d'acier contourné en hélice; au moyen d'un fil métallique d'un très-petit diamètre traversant une boîte à cuirs, on peut exercer une traction sur ces ressorts; un index coloré se meut dans un tube capillaire, de manière à faire apprécier les variations de la température du gaz renfermé dans le réservoir. Les choses étant ainsi disposées, si l'on vient

à exercer une traction sur les ressorts, de manière à doubler à peu près leur longueur, on remarque ordinairement que l'index se ment de plusieurs centimètres dans le sens qui indique un échauffement; si l'on répète l'expérience plusieurs fois de suite, les effets vont en décroissant et finissent par être nuls; mais si on laisse l'appareil se reposer pendant quelques heures, les effets se manifestent à nouveau pour bientôt cesser, et ainsi de suite.

Je n'ai trouvé d'autre explication de ce curieux phénomène que d'imaginer à la surface extérieure des ressorts une couche de substance gazeuse condensée, peut-être de vapeur aqueuse, dans un état qui la rend plus propre à recevoir et à manifester l'effet d'une légère variation de température. Il est probable que cette couche se trouve maintenue à la surface du fil par le voisinage des spires les unes contre les autres, et que, lorsque l'hélice est allongée, cette circonstance n'existant plus, cette couche se répand dans l'air ambiant pour se reformer lentement lorsque les spires se sont rapprochées. Je ne puis entrer ici dans le détail de toutes les circonstances qui me font admettre cette explication; je dirai seulement qu'elle m'a conduit à pouvoir manifester à volonté les effets de chaleur inverse qui se manifestent à l'extérieur et à l'intérieur d'une hélice que l'on allonge; car, en humectant légèrement avec de l'alcool l'intérieur de mes ressorts, j'ai obtenu des effets de température inverses des précédents, et fugaces comme eux.

En résumé, il y a dans ces phénomènes, outre un moyen thermoscopique entièrement nouveau, l'indication de l'existence aux environs de la surface des corps d'une couche gazeuse dans un certain état de condensation.

III. — *Sur la préparation des miroirs d'acier trempé destinés aux expériences d'optique.*

(Annales de Chimie et de Physique, 3e série, 1860, t. LIX, p. 458.)

Les précautions suivantes permettent de faire, à coup sûr, un bon miroir d'acier. On prend une matière aussi homogène que possible, et on prépare la surface réfléchissante en lui donnant presque rigoureusement la forme qu'elle doit présenter définitivement. Cela fait, on cémente la pièce dans du charbon de rognures de cuir ou de corne pendant trois ou quatre heures, à un feu modéré. On a soin d'ailleurs que la surface qui doit être polie plus tard soit posée bien symétriquement par rapport aux parois de la boîte où se fait la cémentation. Lorsqu'on juge que celle-ci a été suffi-

sante, on peut retirer la pièce toute rouge et la tremper dans de l'eau additionnée d'un peu de sel ammoniac; mais le plus sûr, pour obtenir une trempe parfaitement régulière, est de réchauffer la pièce, au sortir du cément, dans un bain composé de parties égales à peu près de bicarbonate de potasse et de cyanoferrure de potassium, maintenus en fusion dans un creuset au rouge-cerise. On en retire la pièce pour la jeter vivement dans l'eau. L'action du bain salin résulte de ses propriétés désoxydantes, et aussi de ce qu'il forme à la surface de la pièce qu'on en retire une sorte de vernis que l'eau mouille bien plus facilement que le métal rougi.

Des plaques ainsi préparées prennent un poli uniforme; elles se déforment d'ailleurs beaucoup moins à la trempe que par tout autre procédé, tant à cause du rétablissement de l'homogénéité dans la matière par suite de la cémentation, qu'à cause de l'uniformité du refroidissement que le mode de trempe indiqué permet d'obtenir.

Il est bon d'ailleurs de faire recuire jusqu'à la couleur jaune-paille les pièces avant de les travailler, l'expérience m'ayant fait reconnaître que, sans cette précaution, il arrivait quelquefois que, par suite d'une sorte de recuit spontané, les surfaces travaillées montraient des traces d'une sorte d'ondulation révélant un changement de constitution moléculaire.

IV. — *Des effets de la trempe sur la coloration de quelques composés de l'ordre des verres.*

(Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1867, t. LXIV, p. 126. — Annales de Chimie et de Physique, 4e série, t. X, p. 345.)

En étudiant les propriétés physiques d'un grand nombre de borates, j'ai eu l'occasion de remarquer qu'un certain nombre d'entre eux présentaient des aspects très-différents, suivant qu'ils étaient refroidis subitement ou plus ou moins lentement. Ainsi, le borate neutre de magnésie coulé sur une plaque de fonte est un verre parfaitement transparent, tandis que si on le laisse refroidir lentement dans le creuset, il offre l'aspect d'une masse blanche, opaque, à cassure rayonnée très-fine, dont l'aspect tient le milieu entre la porcelaine et le marbre blanc. Le borate d'oxydule de cuivre coulé sur la plaque de fonte forme un verre d'une couleur très-foncée, mais cependant transparent à l'endroit où il a touché la plaque, et cela sous une très-faible épaisseur. Il se trouve, en effet, que cette substance demande, pour conserver l'état vitreux, à être refroidie si brusquement qu'à partir de un millimètre seulement de profondeur dans la masse, le refroidissement

ayant été sensiblement plus lent, on ne trouve plus qu'une masse opaque d'un rouge orangé d'autant plus vif qu'on s'avance davantage vers le cœur du morceau.

Cette propriété est plus marquée encore dans les mélanges qu'on peut faire de ce borate avec d'autres, tels que ceux de plomb, de zinc, d'antimoine.

C'est ainsi qu'un mélange de parties égales de triborate d'oxydule de cuivre, de biborate d'antimoine et de borate neutre de plomb, coulé sur une plaque de fonte, donne un verre d'un aspect noir, transparent seulement sous une excessivement faible épaisseur, et offrant alors la nuance d'un verre très-fortement enfumé. Mais si l'on chauffe cette matière jusque vers la température de son ramollissement, et qu'on la laisse refroidir lentement, elle prend une couleur d'un beau rouge d'ocre; elle est alors devenue opaque, mais sans être dévitrifiée.

A mon avis, les borates métalliques auxquels est mélangé le borate d'oxydule de cuivre n'interviennent que comme véhicule; mais comme leur conductibilité pour la chaleur est notable, les effets de la trempe se font sentir dans une épaisseur beaucoup plus grande que pour le borate de cuivre seul. Le borate d'antimoine est celui qui paraît agir le plus efficacement dans ce sens.

Je crois qu'on peut regarder tous ces phénomènes comme rentrant dans la classe de ceux que présentent le soufre, les acides phosphorique, borique, arsénieux, le sucre fondu et coulé, etc. Dans tous ces corps, la trempe aurait pour effet de continuer l'état isotrope qui caractérise la fusion; le corps trempé serait dans un état de *fusion solide*, si ces deux mots n'étaient pas contradictoires; on pourrait, je crois, désigner cet état par le mot *parafusion*. Par un refroidissement lent ou *recuit*, les molécules ont le temps de se constituer en systèmes cristallins confus qui changent les propriétés du corps.

Il est probable qu'un très-grand nombre de corps sont doués de propriétés de ce genre, mais à des degrés différents, de même que nous voyons des verres demander des recuits plus ou moins prolongés pour arriver à la dévitrification. Quant au temps, son action consiste peut-être simplement à laisser intervenir et agir certaines causes très-faibles et d'ailleurs inconnues, qui produiraient à de basses températures les mêmes changements moléculaires que nous voyons se produire plus rapidement à des températures élevées. L'un des exemples les plus remarquables de ce recuit spontané est celui qui est offert par le borate d'étain dans certains mélanges, qui, refroi-

dis brusquement, sont opaques d'un blanc laiteux, mais qui, abandonnés à eux-mêmes pendant plusieurs mois, deviennent gris jaspé. Il n'y a d'ailleurs pas lieu d'attribuer ce changement de couleur à une action de la lumière.

L'état vitreux, ou de parafusion, n'est sans doute qu'un état moléculaire plus ou moins instable ; mais cet état et celui de cristallisation, soit régulière, soit confuse, me semblent devoir être, dans la généralité des cas, considérés comme des états allotropiques.

Les observations consignées ci-dessus sont bien de nature à faire ressortir l'influence de la constitution moléculaire des corps sur la couleur qu'ils présentent, et l'exemple le plus remarquable à ce point de vue est celui du biborate d'oxydule de cuivre, dans lequel on voit la teinte se modifier progressivement dans les diverses couches, suivant la rapidité du refroidissement auquel elles se sont trouvées soumises. Enfin l'étude de ces faits ne serait peut-être pas sans intérêt au point de vue de la préparation des matières colorantes minérales employées dans l'industrie, car il semblerait en résulter que les couleurs des corps sont généralement d'autant plus vives que ceux-ci ont été soumis à un recuit plus prolongé.

V. — *Observations concernant la porosité du caoutchouc.*

(Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1866, t. LXIII, p. 917.)

Cette Note est un extrait d'un travail inédit sur les propriétés mécaniques du caoutchouc; les faits qui y sont relatés viennent à l'appui d'un Mémoire de M. Payen sur la porosité du caoutchouc.

J'ai étudié à l'aide de plusieurs procédés différents les changements de volume que subit le caoutchouc sous l'influence de la traction ; l'un de ces procédés était celui employé autrefois par Cagniard-Latour. Or il arriva qu'une lanière de caoutchouc vulcanisé conservée pendant plusieurs mois dans l'eau avait perdu la propriété d'augmenter de volume quand on doublait même sa longueur par la traction. Ce fait est d'un grand intérêt pour la théorie de l'élasticité.

Le coefficient d'élasticité de cette lanière ne s'était pas sensiblement modifié ; mais sa densité avait un peu diminué.

Maintenant, comment se fait-il que par la simple introduction de l'eau dans des cavités dont M. Payen a directement démontré l'existence, le caoutchouc ait pu perdre la propriété d'augmenter de volume par l'allongement? Il faudrait croire que la matière même du caoutchouc n'augmente

pas de volume sous l'influence de la traction, mais que ce sont seulement les cavités microscopiques qu'il renferme qui subissent cette augmentation, parce que, étant remplies de fluides élastiques, lorsque leur forme vient à changer et devient plus allongée, l'élasticité de ces fluides n'est plus équilibrée de la même manière par la résistance des parois. Mais lorsque, à la faveur d'une immersion prolongée, les actions capillaires ont substitué l'eau à ces fluides élastiques, ce liquide se comporte comme une matière sensiblement incompressible, et il n'y a plus de changement apparent de volume.

VI. — *Sur un nouveau système de régulateurs à ailettes automatiquement variables.*

(Annales du Conservatoire des Arts et Métiers, 1868, t. VII, p. 595.)

Dans ce système de régulateurs, que j'ai réalisé et expérimenté, l'action de l'air sur les différentes parties d'une ailette est équilibrée autour d'un axe perpendiculaire à l'axe de rotation qui entraîne l'appareil; on profite de cette indifférence de l'ailette pour faire varier automatiquement son inclinaison sur sa trajectoire, de manière que la variation du travail passif qui résulte de ces changements de position soit toujours égale aux variations qui peuvent survenir dans le travail moteur. Ce résultat est obtenu en équilibrant, à l'exemple de Foucault, l'action de la force centrifuge sur une masse par celle d'un ressort convenablement tendu. Dans mes appareils, la disposition de ces éléments est nouvelle. Mes ailettes sont d'ailleurs rendues au moyen de masses compensatrices rigoureusement indifférentes à l'action de la force centrifuge dans tous les plans parallèles à l'axe de rotation.

L'expérience m'a fait reconnaître que des systèmes ainsi disposés pouvaient acquérir une sensibilité assez grande pour régulariser à $\frac{1}{1000}$ près, malgré des variations de 1 à 2 dans la force motrice, et cela sans avoir besoin d'aller au delà d'une vitesse de quatre à cinq tours par seconde.

VII. — *Chronoscope fondé sur la chute libre d'un corps.*

(Décrit dans le Mémoire sur la vitesse du son, *voir* ci-après *Acoustique*, p. 41.)

Je me suis proposé de construire un chronoscope qui pût joindre à une grande sensibilité la faculté d'être constamment prêt à fonctionner d'une

manière toujours identique à elle-même, sans qu'on fût obligé de recourir à la comparaison avec une horloge, ni d'étudier si le mouvement est bien uniforme, précautions nécessaires quand on se sert d'appareils mus par des mécanismes dans lesquels il existe des causes variables de perturbation.

L'appareil que j'ai réalisé est en principe une règle tombant verticalement d'une hauteur un peu plus grande que la sienne, sur laquelle l'étincelle d'induction vient laisser une trace à différentes époques. Connaissant la distance de ces points à l'origine de la chute et la loi de celle-ci, on en déduit facilement les instants auxquels les pointés ont été effectués. Avec une hauteur de chute de 2 mètres seulement on peut atteindre une précision telle que le $\frac{50}{1000}$ de seconde est représenté par plus de $\frac{1}{10}$ de millimètre.

Il y avait à vaincre plusieurs difficultés d'exécution : il fallait que la règle tombât bien rectilignement, que le mécanisme destiné à la mettre en liberté n'altérât pas la loi de son mouvement naturel, et enfin qu'elle fût reçue au bout de sa course sans être endommagée par le choc.

Voici la disposition employée. Une règle en bois, de près de 3 mètres, était lestée à sa partie inférieure par une masse de fonte bien symétrique, et réglée de façon que les axes de figure de la règle et de la masse de fonte fussent bien dans le prolongement l'un de l'autre; un fil de fer très-court, placé bien concentriquement, servait à suspendre le tout; ce fil de fer était coupé par un petit appareil disposé de manière à opérer cette section suivant un plan bien horizontal, de manière à n'altérer en rien la position du point de départ; enfin, à la fin de la chute, le système rencontrait un plateau en caoutchouc monté sur un plateau de fonte, lequel terminait un arbre en fer d'un assez gros diamètre, pouvant glisser à frottement dur dans un coussinet en bois. La force vive du chronoscope en mouvement se trouvait ainsi progressivement éteinte par le frottement de l'arbre dans son coussinet, et ce résultat était si constant que, dans mes expériences sur la vitesse du son, l'appareil a fonctionné douze cents fois environ sans avoir besoin d'aucune réparation.

Le mode de pointage employé était l'action de l'étincelle d'induction sur une surface d'argent ioduré suivant le procédé que j'ai imaginé (*voir* ci-dessus, p. 14, art. XIII).

J'ai d'ailleurs en construction un autre chronoscope fondé sur les mêmes principes, mais dans lequel la règle reste immobile : c'est un poids tombant librement qui est chargé de transmettre l'étincelle à la surface de cette règle, préparée comme il vient d'être indiqué.

VIII. — *Sur la perméabilité du sel gemme pour la vapeur du sodium, etc.*

(*Comptes rendus*, t. LXVII, p. 1022; 1868.)

Dans le cours de mes recherches sur l'indice de réfraction des vapeurs, j'ai voulu me rendre compte de la possibilité qu'il y aurait d'étudier quelque jour la vapeur des métaux alcalins, à laquelle aucun verre ne saurait résister. J'ai pensé que les chlorures de certains de ces métaux, que la nature nous offre en échantillons remarquables par leur volume et leur limpidité, pourraient peut-être se prêter aux épreuves nécessaires. J'ai commencé par étudier comment se comportait, sous l'action d'une haute température, le chlorure de sodium natif. J'ai d'abord reconnu que, contrairement à l'opinion accréditée, le sel gemme pouvait être porté à une température très-élevée sans qu'il se brisât. On peut le chauffer à une température voisine de la fusion de l'argent sans qu'il subisse de déformation sensible, mais il émet déjà d'abondantes vapeurs. Ce corps paraît un de ceux où la période d'état pâteux serait très-courte. J'ai pu aussi travailler, dans des morceaux de sel gemme, de petits creusets, obturés par des plaques de même substance, et y enfermer des matières diverses. L'action de la vapeur de sodium est particulièrement remarquable. Au rouge-cerise, cette vapeur pénètre dans la masse du sel gemme avec une vitesse de plus d'un centimètre par heure. Le sel non pénétré est parfaitement transparent à cette température ; au contraire, la partie altérée par la vapeur paraît trouble à cause de la lumière qu'elle émet.

Quand il est revenu à la température ordinaire, le chlorure de sodium ainsi pénétré est encore transparent, mais il présente une teinte d'un beau jaune; la lumière blanche qui a traversé une plaque de sel gemme ainsi colorée ne présente d'ailleurs aucune raie d'absorption.

Avec le temps, même sans l'intervention de la lumière, la couleur jaune se change en une teinte violacée, rappelant celle du tournesol, et offrant comme lui des effets de dichroïsme.

Le potassium produit sur le sel gemme identiquement les mêmes effets de coloration que le sodium, ce qui se conçoit, puisqu'il doit commencer par le déplacer.

Le sélénium et le cadmium laissent le sel gemme parfaitement intact et sans aucune coloration. A cette température, l'iode déplace le chlore.

La vapeur de sodium agit par une sorte de cémentation; sa propagation dans la masse est arrêtée par la moindre fissure.

J'ai étudié aussi le chlorure de potassium natif; ni le sodium ni le potassium ne le pénètrent; le sodium le laisse parfaitement intact. Quant au potassium, renfermé dans un creuset de chlorure, il donne naissance à une matière d'un bleu magnifique.

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE DES COMPTES RENDUS DES SÉANCES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES
525 Paris. — Quai des Augustins, 55.

IV.

ACOUSTIQUE.

Sur la vitesse de propagation d'un ébranlement communiqué à une masse gazeuse, renfermée dans un tuyau cylindrique.

(Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 1862, t. LV, p. 662; 1867, t. LXIV, p. 392. — Annales de Chimie et de Physique, 4e série, t. XII, p. 345.)

Ce Mémoire renferme la description et les résultats d'expériences faites en 1862 et 1863, sur lesquelles j'ai fait une communication le 27 octobre 1862, et dont plusieurs Membres de l'Académie ont bien voulu être témoins.

Je me suis proposé de résoudre expérimentalement la question suivante : mesurer directement, par des moyens purement mécaniques, sur une base relativement très-courte, la vitesse de propagation d'un ébranlement solitaire, communiqué à une masse gazeuse de température parfaitement déterminée, contenue dans un tuyau cylindrique.

Je me suis servi d'un nouveau chronoscope, fondé sur la loi de la chute des graves, qui a été décrit ci-dessus (p. 39, art. VII).

Le tuyau où devait se propager l'ébranlement avait un diamètre de 7 centimètres et une longueur de 72 mètres; il était replié en deux, dans une baignoire de 36 mètres de long, de manière à pouvoir être entouré entièrement d'eau ou de glace fondante.

Les deux extrémités de ce tuyau étaient fermées par des membranes de caoutchouc vulcanisé, très-minces et très-fortement tendues. Un marteau de bois, mû par des ressorts, allait frapper l'une de ces membranes d'un coup unique, et communiquait ainsi à l'air contenu dans le tuyau un ébranlement qui venait, au bout de $\frac{1}{5}$ de seconde environ, mettre en mouvement la seconde membrane. Devant chacune de celles-ci était disposé une sorte de petit pendule, traversé par le courant inducteur d'une bobine de Ruhmkorff; le mouvement de la membrane dérangeant le pendule interrompait ce courant et déterminait l'explosion de l'étincelle d'induction dont la trace était recueillie par la règle du chronoscope en mouvement.

Ainsi se trouvaient enregistrées l'origine et la fin de la propagation de l'ébranlement.

Cette disposition est très-simple en principe : dans la pratique, elle a demandé un assez grand nombre de précautions délicates, dont la description ne saurait trouver place ici.

Pour dessécher l'air contenu dans le tube, on lui donnait un mouvement circulatoire au moyen d'une pompe spéciale, de façon à le faire passer plusieurs fois sur des substances destinées à le priver d'humidité et d'acide carbonique. Comme agent accessoire de dessiccation, en même temps que pour apprécier la tension de la faible quantité de vapeur d'eau qui pouvait subsister dans cet air, j'employais l'abaissement de la température; à cet effet, je faisais traverser au gaz un tube de verre mince plongé dans un mélange réfrigérant dont un thermomètre donnait la température.

La mesure du chemin parcouru rectilignement a été faite avec des soins particuliers, au moyen de règles en fer de 2 mètres comparées aux étalons officiels. L'erreur relative est inférieure à $\frac{1}{10000}$.

Quant à la partie coudée, j'ai évalué directement la longueur rectiligne qui lui était équivalente; je l'ai déduite de la comparaison des longueurs de deux tuyaux d'orgue, l'un droit, l'autre comprenant le coude lui-même qui avait servi dans mes expériences, ces deux tuyaux étant amenés à rendre exactement le même son fondamental.

De la moyenne de plusieurs séries, faites à la température de la glace fondante, et comprenant 77 déterminations, je conclus pour la vitesse de propagation d'un ébranlement, dans les conditions indiquées, le nombre $330^{m},66$ par seconde. J'estime l'approximation à $\frac{1}{1000}$.

Dans l'introduction de mon Mémoire, je discute les expériences faites antérieurement sur la propagation du son dans l'atmosphère, je les ramène à zéro au moyen du coefficient de dilatation des gaz donné par M. Regnault; je fais en même temps la correction probable dans chaque cas pour le degré hygrométrique de l'air. Sur les huit nombres qui représentent les résultats de ces diverses déterminations, cinq sont compris entre 332^{m} et $332^{m},44$. D'un autre côté, le nombre trouvé en 1822 par Arago et le Bureau des Longitudes ($330^{m},64$) se trouve coïncider presque exactement avec celui que j'ai évalué. Le nombre de l'astronome anglais Goldingham ($331^{m},1$) se rapproche beaucoup du nombre d'Arago.

Les expériences faites en plein air, sur une base de plusieurs kilomètres, ne peuvent évidemment inspirer qu'une confiance très-limitée, à cause de l'incertitude considérable qui doit régner sur la véritable valeur de la tem-

pérature de l'air sur le trajet de l'ébranlement sonore. L'erreur est d'autant plus à craindre de ce côté que ces expériences ont été généralement faites la nuit; or, les travaux des physiciens modernes, tels que MM. Babinet, Becquerel, Martins, etc., ont mis en évidence l'existence d'un maximum de température pendant la nuit, qui aurait lieu à une hauteur plus ou moins grande. En Angleterre, les ascensions aérostatiques opérées pendant la nuit par M. Glaisher ont montré que souvent la température continuait à croître jusqu'à des hauteurs considérables. L'influence de cette cause d'erreur serait de donner des vitesses trop grandes; or, c'est précisément le plus petit des nombres trouvés pour la propagation à l'air libre qui se rapproche le plus de celui que j'ai trouvé pour la propagation cylindrique.

Il est donc probable que les deux vitesses de propagation, sphérique et cylindrique, sont bien égales; mais pour arriver à résoudre définitivement cette question, il faudrait pouvoir opérer dans l'atmosphère sur une faible base, 100 mètres par exemple, de manière à pouvoir étudier complétement la distribution de la température dans cet espace. Ma méthode expérimentale est éminemment propre à une telle étude; j'avais même disposé des appareils dans ce but, mais le calme parfait de l'atmosphère qui est nécessaire à leur fonctionnement paraît difficile à rencontrer dans nos climats.

Dans le Mémoire, j'examine incidemment un certain nombre de questions relatives à la production de l'étincelle d'induction, à la propagation des ébranlements dans les canaux courbes, à une nouvelle forme à donner à mon chronoscope, etc.

En résumé, j'ai fait l'application d'une méthode nouvelle d'expérimentation qui permet de déterminer la vitesse de propagation d'un ébranlement dans une colonne de gaz dont la masse n'est pas assez considérable pour qu'on ne puisse l'avoir pur, et dans des conditions qui permettent de la porter à telle température qu'on pourrait désirer. Des considérations de dépense et de place m'ont forcé à restreindre mes expériences à celles qui ont été faites sur l'air à zéro.

Je dois dire d'ailleurs que quand j'avais entrepris ce travail je n'avais pas connaissance de l'immense recherche commencée alors par M. Regnault, et en présence des résultats si complets de laquelle il devenait superflu de pousser plus loin mes propres expériences.

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS, SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,
Rue de Seine-Saint-Germain, 10, près l'Institut.